

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ
KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ PRO AUTOMOBILY

Návrh extruderu pro 3D tisk z granulátu

DESIGN OF PELLET EXTRUDER FOR 3D PRINTING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE:

TOMÁŠ CHYTIL

VEDOUCÍ PRÁCE:

Ing. VLADIMÍR ZBOŽÍNEK

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálů a technologií pro automobily

Zadání bakalářské práce

Student: **Tomáš Chytil**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl
Téma: **Návrh extruderu pro 3D tisk z granulátu**
Design of pellet extruder for 3d printing
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor
2. Přehled realizací
3. Vlastní návrh extruderu granulátu
4. Shrnutí


Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Ian Gibson, David W. Rosen and Brent Stucker. Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. ISBN -10 : | 441911 197 . ISBN- 1 3 : 978-144191 1 193.
- [2] CHUA, C.K., K.F. LEONG a C.S. LIM. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3. vyd. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2010, 512 s. ISBN 978-981-277-897-0.
- [3] GEBHARDT, A., Rapid prototyping. 1st ed. p. cm., Carl Hanser Verlag, Munich 2003, 379 s., ISBN 3-446-21259-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladimír Zbožínek**

Datum zadání: 30.11.2017
Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

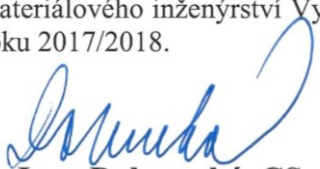
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě 30.4.2018

Tomáš Chytil
.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na návrh granulátového extruderu pro 3D tisk. Před dosažením vhodného návrhu zde byla řada neúspěšných návrhů extruderu. U konečného návrhu si zhodnotíme jednotlivé součásti, ze kterých se extruder skládá a bez kterých by nemohl správně fungovat. Práce obsahuje i technické výkresy.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D tisk, Technologie 3D tisku, Granulátový extruder, Vstřikovací stroj

ABSTRACT

Bachelor thesis focuses on the design of pellet extruder for 3D printing. There were several unsuccessful designs, before the final one. We will evaluate the final extruder's components from which the extruder is composed and without it could not work properly. The thesis contains technical drawings.

KEY WORDS

3D printing, Technologies of 3D printing, Pellet extruder, Injection machine

Poděkování

Tímto bych velice rád poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Vladimíru Zbožínkovi, za hodnotné připomínky a rady zejména v praktické části bakalářské práce.

Obsah

Úvod	10
1 Teoretický rozbor	11
1.1 3D tisk	11
1.2 Průběh tisku	11
1.3 Technologie tisku	12
1.3.1 FDM technologie	12
1.3.2 FFF technologie	13
1.4 Materiály pro 3D tisk	14
1.4.1 ABS materiál	15
1.4.2 PLA	16
1.4.3 PET	17
2 Přehled realizací	18
2.1 Granulátové extrudery	18
2.1.1 Univerzální granulátový extruder	18
2.1.2 WalTruder 8	19
2.1.3 ErectorBot	20
2.1.4 Granulátový extruder Direct3D	21
2.1.5 DeltaWasp	22
2.1.6 3D tiskárna Atlas s extruderem na bázi granulí	23
2.1.7 Granulátový extruder pro technologii FGF	24
2.1.8 Mobilní 3D tiskárna na robotickém rameni	25
2.2 Průmyslové extrudery	27
2.2.1 Vstřikovací stroj	27
2.2.2 Postup vstřikování	27
2.2.3 Ukázka průmyslového extruderu	28

2.2.4	BAAM stroj a replika vozu Shelby Cobra	30
3	Návrh extruderu.....	32
3.1	Návrh č.1	32
3.2	Návrh č.2	34
3.3	Návrh č.3	35
3.4	Konečný návrh extruderu	37
3.4.1	Násypka	39
3.4.2	Skluzačka	40
3.4.3	Chladič	41
3.4.4	Krokový motor Nema 17.....	42
3.4.5	Ozubená kola.....	43
3.4.6	Kuličkové ložisko.....	44
3.4.7	Tryska.....	45
3.4.8	Vrták.....	46
3.4.9	Topné těleso	47
3.4.10	Termistor	48
3.4.11	Uchycení extruderu na 3D tiskárně	50
	Závěr.....	51
	Seznam zkratk	52
	Seznam zdrojů a použité literatury.....	53
	Seznam obrázků	56
	Seznam příloh.....	58

ÚVOD

Hlavní problematikou, jež se v této práci zabývám, je tisk 3D modelů granulátovým extruderem. Použití granulí namísto filamentu má své výhody. Pravděpodobně tou nejzásadnější výhodou jsou finance. V dnešní době se vše řídí okolo financí. Je zde obrovský rozdíl mezi cenami filamentů a granulí, 1 kg filamentu namotaného na cívce, která se také musí vyrobit zvlášť, stojí v přepočtu okolo 500 Kč, kdežto 1 kg například ABS granulátu stojí 170 Kč, to představuje značnou úsporu financí. Tisk granulátem je i mnohem efektivnější, protože můžeme tisknout několika barvami najednou. Tisknutí filamentem nenabízí takovou možnost. U tisku filamentem můžeme mít zavěšené dva kotouče s odlišnými barvami, ale na to zase potřebujeme jinou tiskovou hlavu. Další výhodou je opětovné používání granulí. Vytiskneme-li podpůrné plochy modelu, které se odlamují, můžeme je dále recyklovat a použít znovu, nebo když se nám nepovede vytisknout adekvátní model.

Účelem teoretické části je popsat 3D tisk, jeho technologie, materiály vhodné k tisknutí 3D modelů. Poté srovnání a popis několika extruderů od jednoduchých až po profesionální. Na to navážeme průmyslovými extrudery, pracujícími na principu vstříkolisu a velkoprostorovou tiskárnou.

Cílem praktické části, a tím i bakalářské práce, je navrhnout granulátový extruder. Zrekapitulujeme si všechny návrhy až po finální návrh, u kterého si popíšeme jednotlivé komponenty zvlášť.

1 TEORETICKÝ ROZBOR

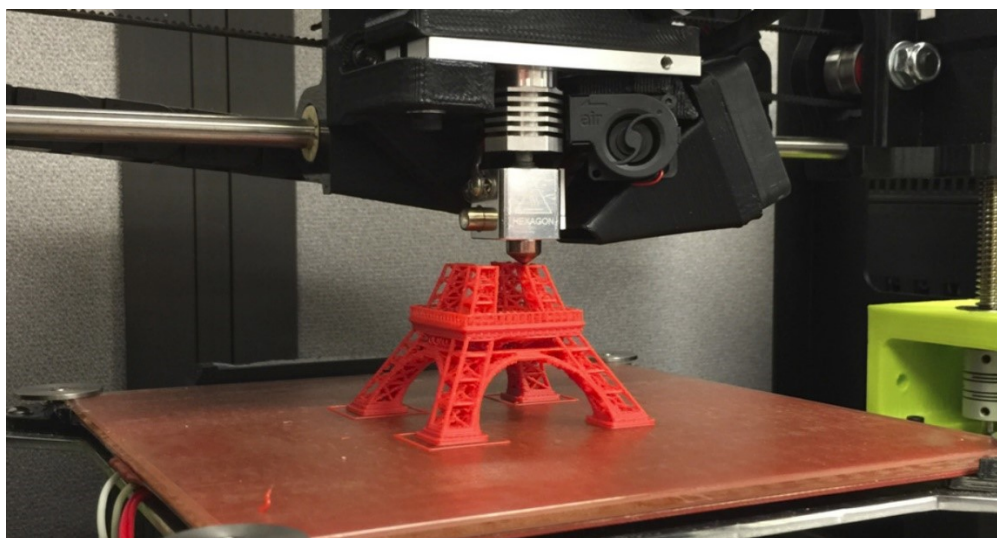
Kapitola je zaměřena obecně na 3D tisk a na to, jakým způsobem probíhá samotný tisk. Na to navazuje technologie tisku, která je zaměřena na FDM a FFF technologii. Poslední část zahrnuje tiskařský materiál.

1.1 3D tisk

Hlavním principem 3D tisku je tvorba trojrozměrných výrobků z digitálního souboru. Tento princip je založen na skládání jednotlivých vrstev materiálu do okamžiku, kdy je celý výrobek dokončen. 3D tisk umožňuje vytvářet modely, které lze otestovat a pokud nesplnily správně svou funkci (špatné rozměry modelu), můžeme změnit jejich design a rychle znovu vytisknout. 3D tisk produkuje méně odpadu než jiné techniky. [1]

1.2 Průběh tisku

Vše začíná vytvořením 3D modelu v počítačovém programu. 3D model je vytvořen, buď v modelovacím softwaru, jako například CAD nebo na základě dat pomocí 3D skeneru. Další možností je 3D tržiště, kde lze zakoupit či stáhnout již zhotovený 3D model. Ještě než započne samotný tisk, musí být model převeden do formátu, který je kompatibilní s 3D tiskárnou například .STL a .OBJ. Tyto zkratky slouží k vytvoření příkazů pro pohyb motorů, ovládání trysky. Jakmile se dokončí tisk, následuje odstranění podpurných ploch nebo obroušení pro dokončení modelu. [1]



Obr. 1: Průběh 3D tisku převzato z [2]

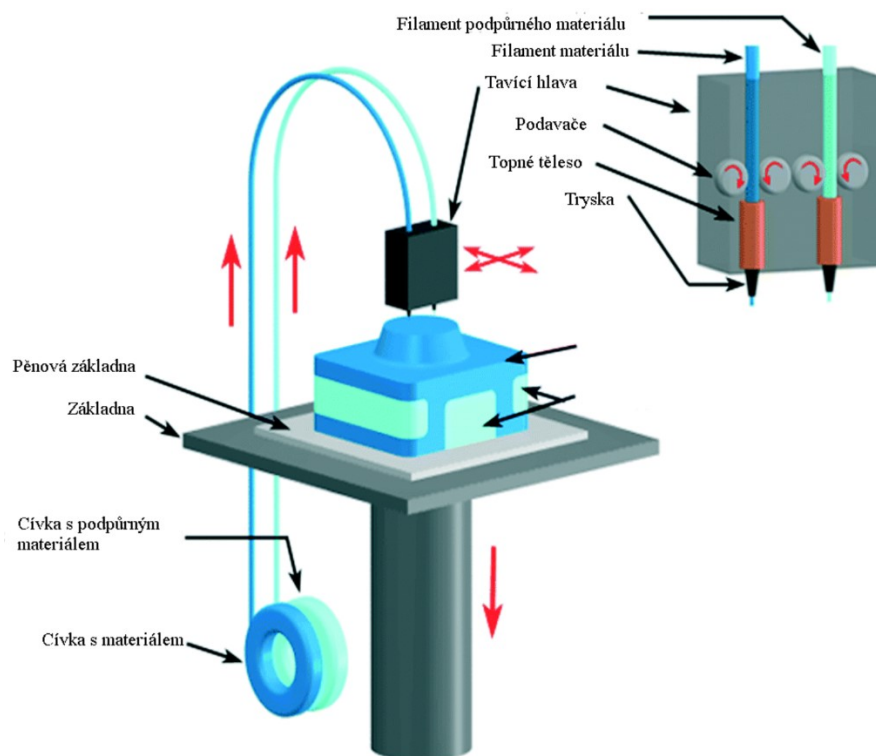
1.3 Technologie tisku

Existuje několik způsobů, jak vytvořit objekt, za pomoci pokládání jednotlivých vrstev na sebe. Základními technologiemi pokládání vrstev pro vytvoření 3D objektu jsou FDM a FFF technologie, které si zde podrobněji popíšeme. To bude zahrnovat obecný popis technologií, jejich výhody a nevýhody. Tyto technologie mohou pro tisk využívat jak filament, tak i granulát.

1.3.1 FDM technologie

V 80. letech 20. století si nechal Scott Crump patentovat metodu FDM. V dnešní době je to jedna z nejpoužívanějších metod výroby 3D modelu. Metoda FDM spočívá v extruzi termoplastického materiálu skrze trysku, která je vyhřívána na vysokou teplotu a materiál je pokládán vrstvu po vrstvě na pohybující se základnu. Součástí trysky je senzor teploty, který udržuje teplotu materiálu úzce nad teplotou tání, tento senzor také slouží pro hladké protékání tryskou. Po položení materiálu nastává jeho okamžité ztuhnutí. Aby mohl tisk pokračovat, dojde ke spuštění základny a tavicí hlava položí následující vrstvu. Postup pokračuje dále a ukončí se, jakmile dojde k vytvoření úplného modelu. Dnes jsou FDM tiskárny vybaveny vícenásobnými tavicími hlavami. Dále tiskárny umožňují množství procesních parametrů, což dovoluje vyrábět modely s odlišnou pevností, jakostí povrchu, přesností modelu a mechanickými vlastnostmi. [3]

Zásadní výhodou FDM technologie je zpracování prakticky všech typů materiálů a tisku téměř jakéhokoli tvaru. Lze použít klasické materiály, jako například ABS a PLA plast, dále polykarbonát, polystyren a další. Dovoluje i přístup k materiálům, jako jsou vyztužené polymerní kompozity a nanokompozity. Za nevýhodu lze považovat nutnost dokončovacích operací, které slouží zejména k odstranění podpůrných ploch. [3]

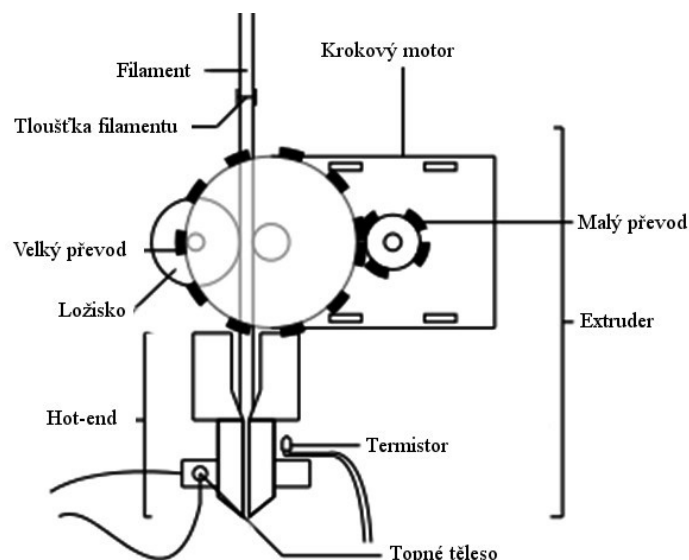


Obr. 2 FDM technologie [3]

1.3.2 FFF technologie

Pro FFF 3D tiskárny převezme počítač 3D model a převede jej do příkazů, které použije tiskárna. Podávací mechanismus převezme umělé vlákno, namotané na cívce nebo granule, umístěné v násypce a přivádí materiál do tzv. hot-end (tavící hlava). Zde dojde k roztavení vlákna a vytlačování řízenou rychlostí na tiskové lůžko. Hlava extruderu a tiskařské lůžko se vzájemně pohybují ve třech hlavních směrech os, aby vytvořili požadovaný model. Rychlost, zahájení nebo zastavení nanášení materiálu a vytvoření přerušované roviny, je definováno a kontrolováno pomocí počítače. [4]

Zásadní výhodou této technologie je pořizovací cena tiskárny, dále by se dalo zmínit, že FFF technologie šetří náklady na pořizování materiálů pro tisk 3D modelu. Samotný materiál je jednou z dalších výhod, a to proto, že můžeme použít širokou škálu různých materiálů, které se stále rozšiřují. Za nevýhodu lze považovat dlouhou dobu tisku. Také disperze tiskové přesnosti je jednou z nevýhod technologie, stejně tak i konstrukce podpěr. Výsledný produkt zhotovený tímto výrobní postupem, vykazuje vysokou exaktnost detailů a rozměrů. Nezbytnou součástí procesu je samozřejmě odstranění podpěr, které probíhá samočinně v konkrétní jednotce. Tímto je proces ukončen a může započnout další tisk. [5]



Obr. 3: Technologie FFF [6]

1.4 Materiály pro 3D tisk

Materiály k tisknutí 3D modelů jsou ve formě drátů, navinutých na cívkách o průměrech 1,75 -3 mm. Váha cívky s namotaným drátem se pohybuje okolo 1 kg. Na trhu jsou dnes dostupné filameny a granule s různou variací barev.

Dalším materiálem, který lze použít jsou plastové granule. Tyto granule se vyznačují malými rozměry v řádech milimetrů. Nemusí být namotány na cívce, což je jejich hlavní výhoda, protože na 3D tiskárně nemusí být nosná konstrukce pro cívku s filamentem. Pro přenos granulí stačí mít násypku, která se umísťuje na samotný extruder.



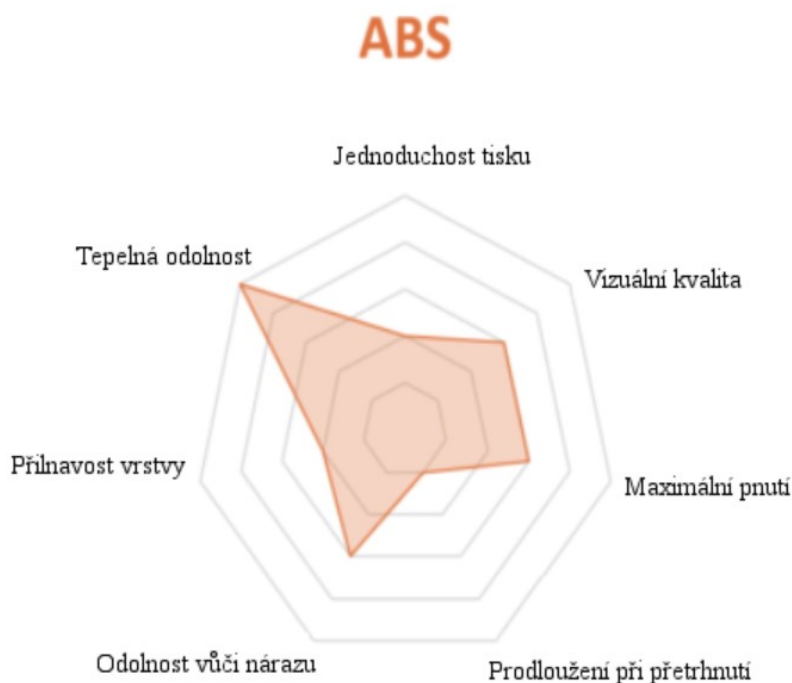
Obr. 4: Ukázka granulátu převzato z [7]

1.4.1 ABS materiál

Akrylonitrilbutadienstyren je amorfní termoplastický kopolymer vyrobený z ropy s hustotou $1\,045\text{ kg/m}^3$ a smrštěním v rozmezí 0,3-0,7 %. Mezi jeho výhody patří odolnost proti nízkým i vysokým teplotám, odolnost proti kyselinám, hydroxidům, uhlovodíkům, olejům, tukům, dále dosahuje vysoké odolnosti proti tlakovým rázům i za nízkých teplot, proti šíření trhlin a odolností proti otěru, dobře odolává atmosférickým vlivům, UV záření a tlumí zvuk. Jednou z dalších předností je zdravotní nezávažnost. Nevýhodou tohoto plastu je smršťování se do sebe a změna tvaru při chladnutí a horší přilnavost. Problém s přilnavostí se může vyřešit ohřátím podložky na alespoň $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ a vytvoření tenké vrstvy ABS materiálu na podložce pomocí roztoku, který se vytvoří rozpuštěním ABS plastu v acetonu. [8]

Teplota zpracování je $280\text{ }^{\circ}\text{C}$, za zvýšené teploty se začne rozkládat. ABS plast odolává teplotám do $105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Maximální tisková teplota se pohybuje okolo $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. [8]

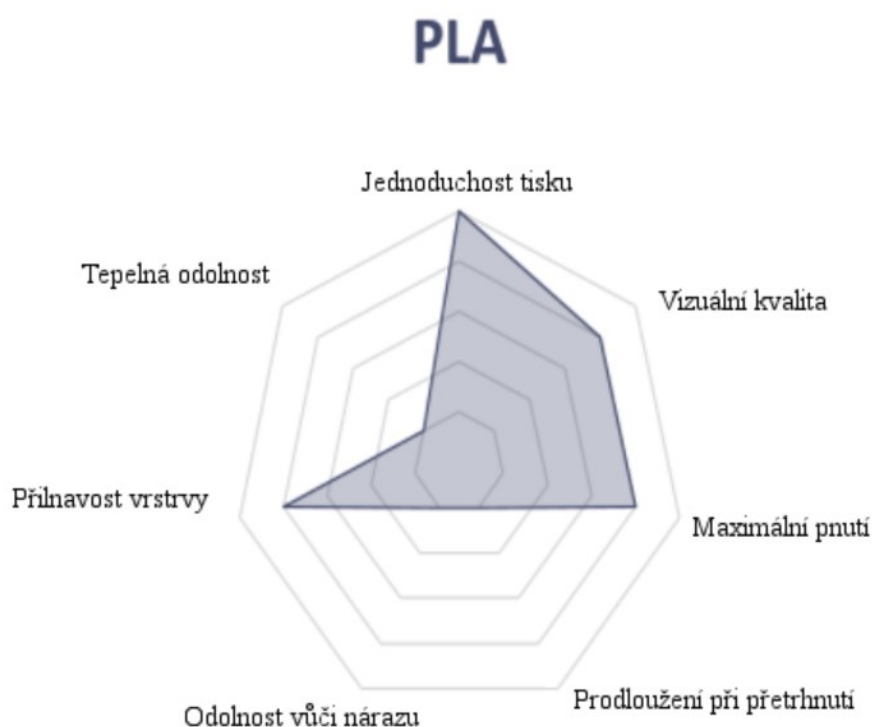
Na Obr. 5 můžeme pozorovat, že ABS plast má vynikající tepelnou odolnost, ale oproti PLA plastu zaostává v jednoduchosti tisku. Odolnost proti nárazu lze považovat za jeho přednost, společně s vizuální kvalitou a maximálním pnutím.



Obr. 5: Graf charakteristiky ABS plastu [9]

1.4.2 PLA

Polylactid acid je druhý nepoužívanější materiál pro 3D tisk, tím nepoužívanějším je ABS plast. Je vyráběn z biologických obnovitelných zdrojů, např. kukuřice, bramborový škrob, řepný cukr. Z pohledu ekologie je přijatelnější než ABS plast. V porovnání s nepoužívanějším materiálem (ABS) má tento termoplastický polyester horší mechanické vlastnosti, horší ohybnost a nižší teplotu tavení. Zásadní problém je vlhkost materiálu, který má tendenci vytvářet na konci trysky bubliny páry, které vznikají při zahřátí a uvolňují se z materiálu. Bubliny rapidně snižují pevnost, kvalitu a přesnost výrobku. Tuto nevýhodu lze vyřešit vysoušením. Během vysoušení se musí kontrolovat teplota, aby nedošlo k deformaci materiálu. Další nevýhoda vzniká při rychlém skládání vrstev a nedostatečném chlazení, kdy může dojít k roztavení modelu. PLA plast má i své výhody oproti ABS plastu. Jedná se o menší míru deformace, to umožňuje vytvářet přesnější modely, a také je zde vyšší přilnavost, což je patrné z obrázku Obr. 6. [10]

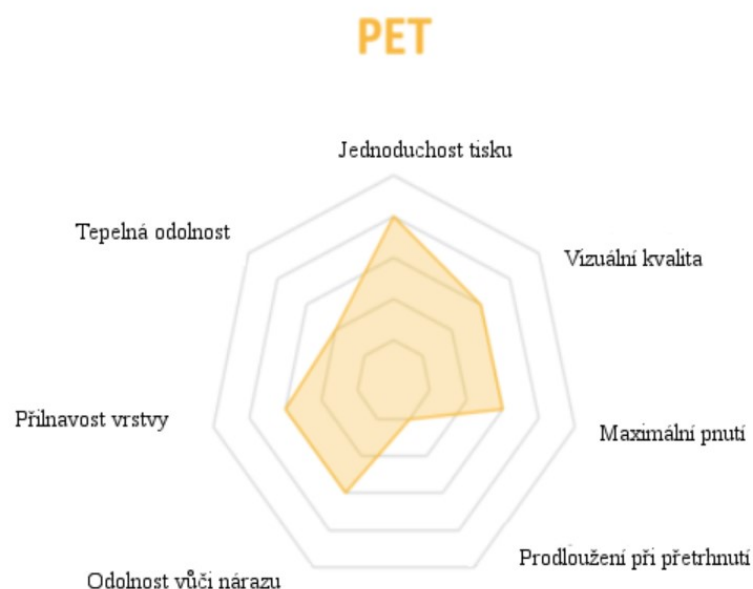


Obr. 6: Graf charakteristiky PLA plastu [9]

1.4.3 PET

Tento termoplastický polyester má znamenité mechanické vlastnosti. Příkladem může být modul pružnosti, který se pohybuje v rozmezí od 2000 MPa až do 3100 MPa a dále mez pevnosti, jenž je rovna 47 MPa. ABS materiál oproti PET materiálu zaostává. Maximální hodnota modulu pružnosti ABS materiálu je 2700 MPa. Modul pevnosti je nižší o 2 MPa. [11]

V porovnání s ABS plastem, je polyetylentereftalát odolnější proti vlhkosti a oděru. Dominuje u něj jednoduchost tisku, což můžeme vidět na Obr. 7. Je poměrně tuhý, může být následně zpracován brusným papírem a natřený akrylovými barvami, lze jej i lepit. Teplota použití pro tisknutí se pohybuje od 190 do 230 °C. Cena tohoto materiálu se odhaduje na 0,8 Kč/g. [11]



Obr. 7: Graf charakteristiky PET plastu [9]

2 PŘEHLED REALIZACÍ

V této části si ukážeme několik typů extruderu pro 3D tiskárny. Na začátku budou ukázány jednoduché extrudery. Dále se přesuneme na složitější typy až po profesionální extrudery. Na konci se budeme věnovat průmyslovým extruderům a tím zakončíme teoretickou část bakalářské práce.

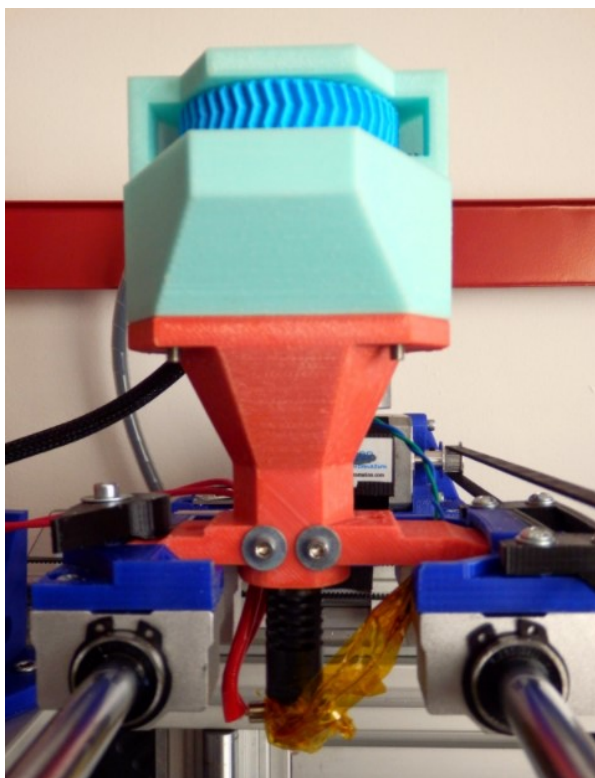
2.1 Granulátové extrudery

Výroba a použití granulátových extruderů je nejjednodušším způsobem, jak ušetřit až 75 % výrobních nákladů. Používají se standartní granule (ABS, PLA, PET...) nebo mohou být použity recyklované staré výtisky. Oproti drátům, zvyšují granule flexibilitu materiálu. Cívky drátů jsou náchylnější k vlhkosti, zatímco zásobník extruderu se dá uzavřít, a tím je zabráněno vzniku vlhkosti.

2.1.1 Univerzální granulátový extruder

Hlavní myšlenkou vzniku tohoto extruderu, bylo použití cukru, jako podpůrný materiál, lze ho dobře vypláchnout a má příznivou přilnavost na PLA materiál. Tento cukr nese název Isomalt, jeho hlavní předností je menší pravděpodobnost spálení než u běžného cukru.

Na extruderu byla použita standartní vyhřívaná hlava J-Head Hot-end s hliníkovou páskou, pomáhající při chlazení. Dále vrták o délce 170 mm a průměru 6 mm, upevněný pomocí ložisek, který se staral o vytlačování materiálu. Vrták musel být zkrácen, protože pozice ve vyhřívané hlavě byla specifická. Pro pohon byl vybrán motor NEMA 17 a ozubený systém, jako u běžného extruderu. Na Obr. 8 můžeme vidět, že konstrukce s násypkou a držákem pro motor jsou vyrobeny pomocí technologie 3D tisku. To samé platí i pro ozubený převod [13]

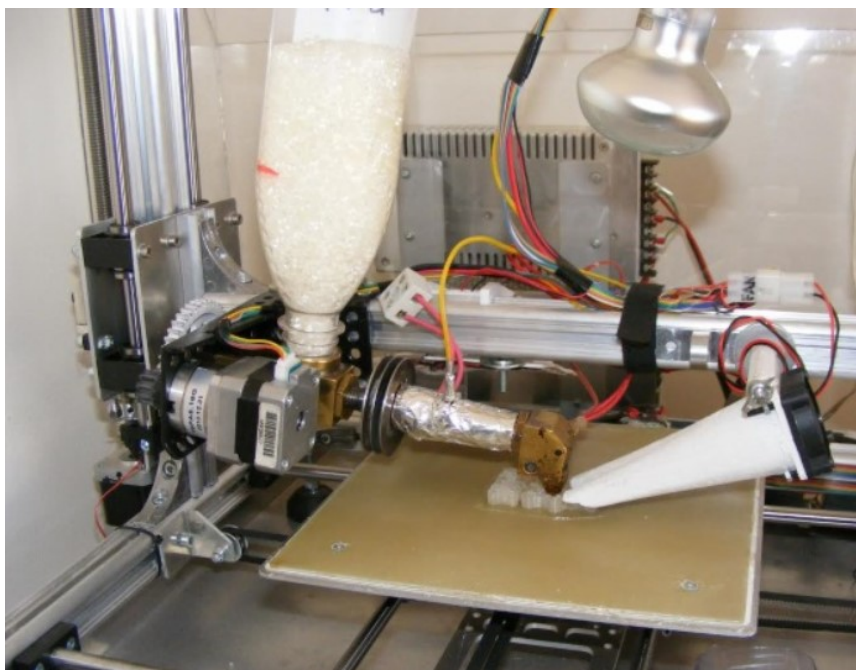


Obr. 8: Univerzální granulový extruder převzato z [13]

2.1.2 WalTruder 8

Extruder WalTruder 8 je složen ze zásobníku na granule, dále obsahuje šnek (vrták) o průměru 8 mm, který vytlačuje materiál a hlavní těleso, složené ze dvou ložisek, nesoucí šnekový dopravník a slouží také pro přívod granulí do šneku, umístěného ve vyhřívané hlavě. Trysky extruderu mohou být vyměněny, jejich průměr činí 0,3-0,7 mm. Kapacita násypky je až 300 g granulí. [14]

Extruder vypadá velice jednoduše a lacině, jeho konstrukce působí chatrně. Násypka je nejspíš provizorně vyrobena z pet láhve, jedná se pravděpodobně o prototyp extruderu. Pro natavení materiálu se použilo topné těleso s hliníkovou fólií a UV lampou. Můžeme si všimnout, že chlazení je provedeno pasivní formou, kdy je chladič upevněn mimo konstrukci extruderu a chladí pouze trysku extruderu (viz. Obr. 9)



Obr. 9: WalTruder 8 převzato z [14]

2.1.3 ErectorBot

Jedná se o inovativní 3D tiskárnu, pracující s plastovými granulemi. Konstrukce této tiskárny umožňuje pohyb po celé ose Y. Během vzrůstu modelu nedochází ke změně dynamiky, a proto zde nepůsobí žádné přidavné napětí nebo vibrace.

Na extruderu je připojena násypka s vakuovou trubicí, která je spojena s vyfukovací částí vakua. Úroveň hladiny granulí snímá laser, umístěný na konci trubice. O pohon se stará planetová převodovka, jenž umožňuje vytlačování jakéhokoli materiálu. Dále je extruder opatřen stacionárním lůžkem, díky kterému nedochází ke kalibraci mezi výtisky. Stacionární lůžko může být přidáno nebo odebráno modulárním postupem, aby došlo ke stupňovité konfiguraci pro výrobu velkých a unikátních modelů. Lůžko dosahuje teploty 100 °C a dovoluje tisknout více viskózní materiál, díky nulovým vibracím. Extruder byl navržen tak, aby byl vysoce účinný a snadno kompatibilní s libovolným systémem. ErectorBot je stavěn na zakázku. Cena za celou sestavu se pohybuje v rozmezí od 235 000 Kč do 720 000 Kč. [15]



Obr. 10: ErectorBot převzato z [15]

2.1.4 Granulátový extruder Direct3D

Extruder je prozatím ve fázi testování a není dostupný, stejně tak není známa jeho cena. Granule zde padají do vyhřívané komory, ve které dojde ke změkčení těchto granulí. Následně se šroubový mechanismus otáčí tak, aby vytlačoval granule ven z trysky. Průměr trysky má velikost od 0,8 do 2,5 mm. Znamená to, že extruder je vhodný spíše pro větší a hrubší tisk, než pro tisk s vysokými nároky na přesnost modelu. Jako materiál byl testován ABS, PLA, PA, PP, PE a další možné termoplasty. Tělo extruderu je vyrobeno z hliníku s možností montáže na 3D tiskárny typu Prusa, RepRap a mnoha dalšími tiskárnami. Další komponenty, jako násypka s průchodem granulí v rozmezí od 30 do 250 gramů za hodinu a chladič jsou vyrobeny 3D tiskem a mohou být upraveny na požadovaný rozměr a potřebu zákazníka. Na Obr. 11 si můžeme povšimnout, že pohon vrtáku se přenáší řemenovým převodem, což je jedna z možností, jak přenést výkon motoru na šnekový mechanismus. [16] [17]

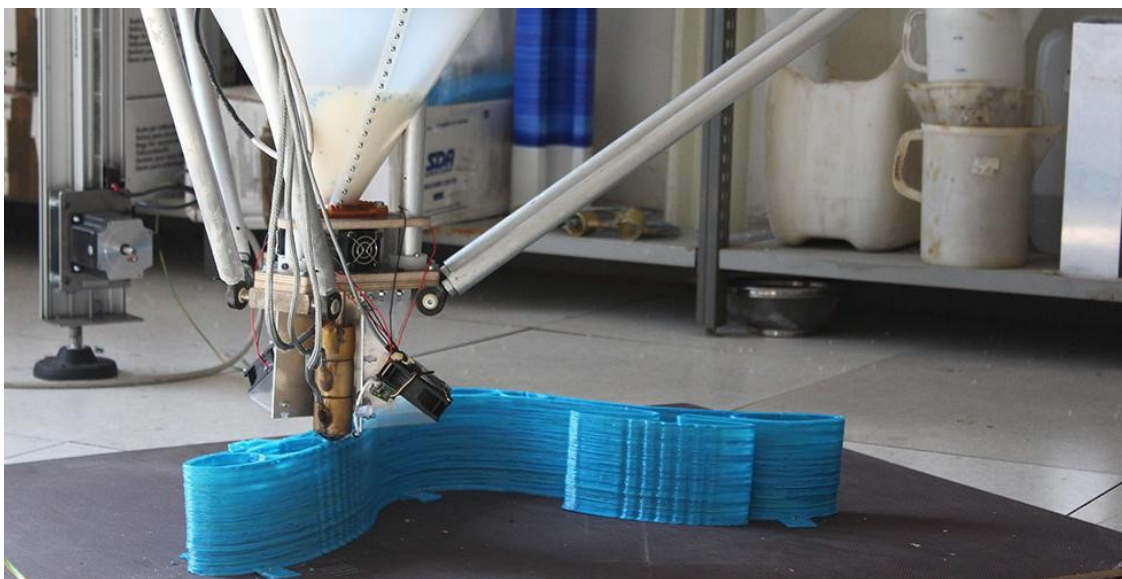


Obr. 11: Granulový extruder Direct 3D převzato z [16]

2.1.5 DeltaWasp

3D Tiskárny typu delta využívají osy X, Y, Z pro tisknutí modelu. Hlavním principem je technologie tří ramen, které řídí extruder, jenž je umístěný ve středu a spojuje jednotlivá ramena. Tyto tiskárny disponují velkým tiskovým prostorem a pracují rychleji. Za nevýhodu lze považovat komplikovanou geometrii, díky které je delta tiskárna obtížná na montáž a kalibraci. [18]

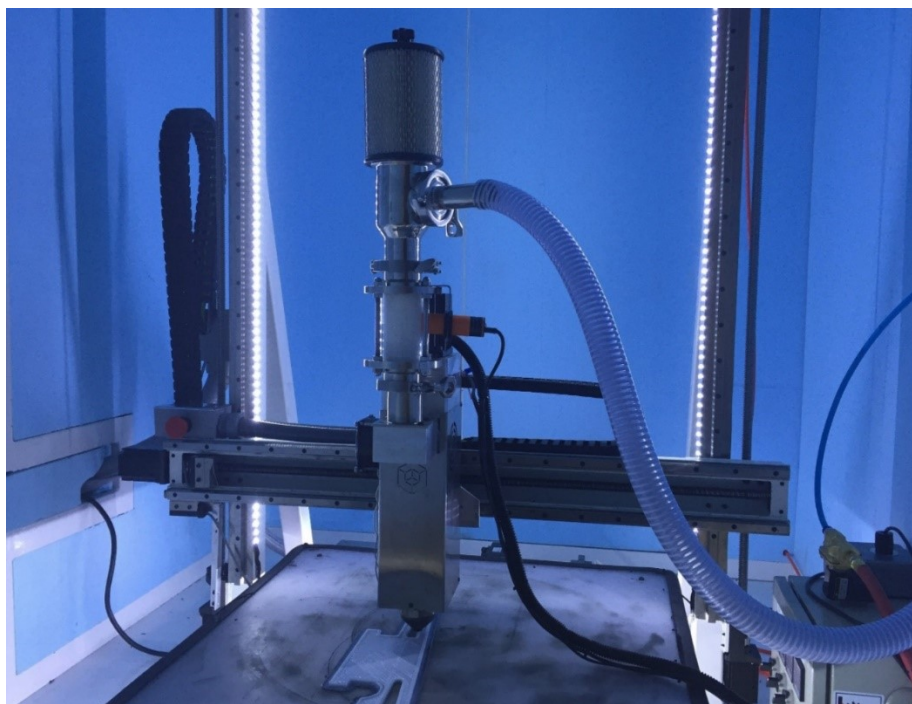
3D tiskárna o výšce 3 metry, obsahuje extruder, který je navržený na zpracování spíše PLA granulí. Součástí extruderu je tryska, která má průměr 4 až 10 mm, což umožňuje tisknout objemnější tiskové úlohy. Tyto úlohy by na klasických 3D tiskárnách vyžadovaly několik hodin či dnů tisknutí. DeltaWasp je schopna zpracovat 10 kg materiálu během 8 hodin a drasticky tak snižuje náklady na každou tiskovou úlohu. Využívá se k tisknutí nábytku, z tohoto důvodu se používá u této tiskárny granulát, protože výsledný produkt má větší rozměry. [19]



Obr. 12: Delta Wasp převzato z [19]

2.1.6 3D tiskárna Atlas s extruderem na bázi granulí

Atlas je masivní, velice spolehlivá profesionální tiskárna, která používá systém extruze na bázi vláken. Nevýhodou vláken je jejich cena a limit pro vytlačení objemu vlákna za hodinu. Proto se u této tiskárny nainstaloval extruder, který využívá granule k tisknutí. U takto velkých tiskáren je zásadní otázka, za jak dlouho se dokončí objemné tiskařské úlohy. Použitím extruderu na bázi granulí došlo k rapidnímu snížení nákladů a zvýšení průtoku plastu. Spojení extruderu s vyhřívaným krytem umožňuje tisk ABS plastu s průtokem 2,3 kg za hodinu. Tento průtok je stejný, jako tisk celé 1 kg cívky PLA plastu za 26 minut, což by na stolních tiskárnách trvalo několik dní. Podstatou přestavby bylo snížení nákladů, a to se podařilo zrealizovat, protože náklady na granule jsou asi 10krát nižší, než náklady na cívku vlákna. Jedná se tedy o velice precizní uzavřenou tiskárnu se stavební plochou o rozměrech 915 x 915 x 1220 mm. Přívod granulí zajišťuje nasávací hadice, takže tisk může probíhat téměř nepřetržitě. Tiskárna slouží k tisku velkoformátových modelů. U velkých výtisků nezáleží až tak na detailech, a proto je tiskárna Atlas jednou z nejrychlejších velkoobjemových 3D tiskáren. [20]

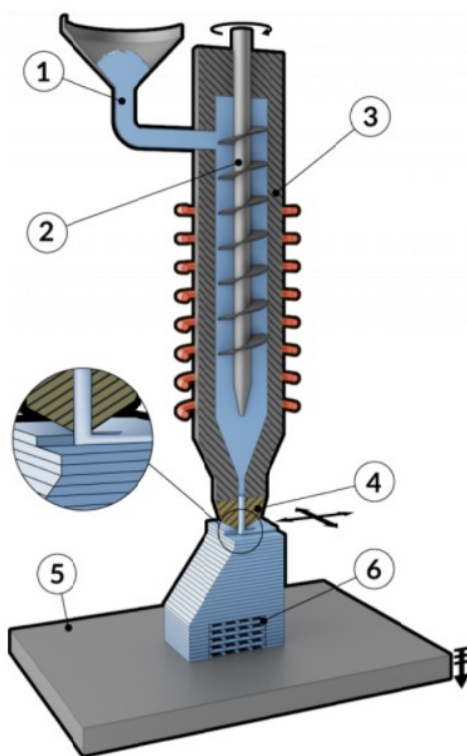


Obr. 13: 3D tiskárna Atlas převzato z [20]

2.1.7 Granulátový extruder pro technologii FGF

Metoda FGF neboli fused granular fabrication, je aditivní způsob výroby, při které dochází k tavení granulí. Roztavený materiál se nanáší vrstvu po vrstvě, aby došlo ke vzniku 3D modelu.

Materiál se pokládá na pohyblivou plošinu. Granule se dodávají do svisle uloženého šroubového extruderu, kde se roztaví na homogenní plastickou hmotu. Hmotu je tlačena skrze výměnnou trysku a průtok je řízen průměrem a tvarem otvoru trysky. Čím větší bude průchodnost materiálu, tím vyšší bude stavební rychlost, ale sníží se drsnost povrchu. Jakmile se vytiskne jedna vrstva, platforma se sníží, aby mohlo dojít k tisku další vrstvy. Po dokončení tisku se odstraní podpůrný materiál, pokud je nezbytný při tisku daného modelu. Extruder bude nejspíš používán pro tisk velkoobjemových výtisků a vyznačuje se vysokou výrobní kapacitou, vysokou mírou použití materiálu, lze použít všechny typy polymerů. Jeho další výhodou je ekologická šetrnost a vysoká odolnost ve výrobě. [21]



Obr. 14: Granulový extruder pro FGF technologii převzato z [21]

Popis extruderu pro technologii FGF:

- 1) Vstupní materiál (granule)
- 2) Svislý šroub
- 3) Konstrukce extruderu
- 4) Výměnná tryska
- 5) Pohybující se plošina
- 6) Podpůrný materiál

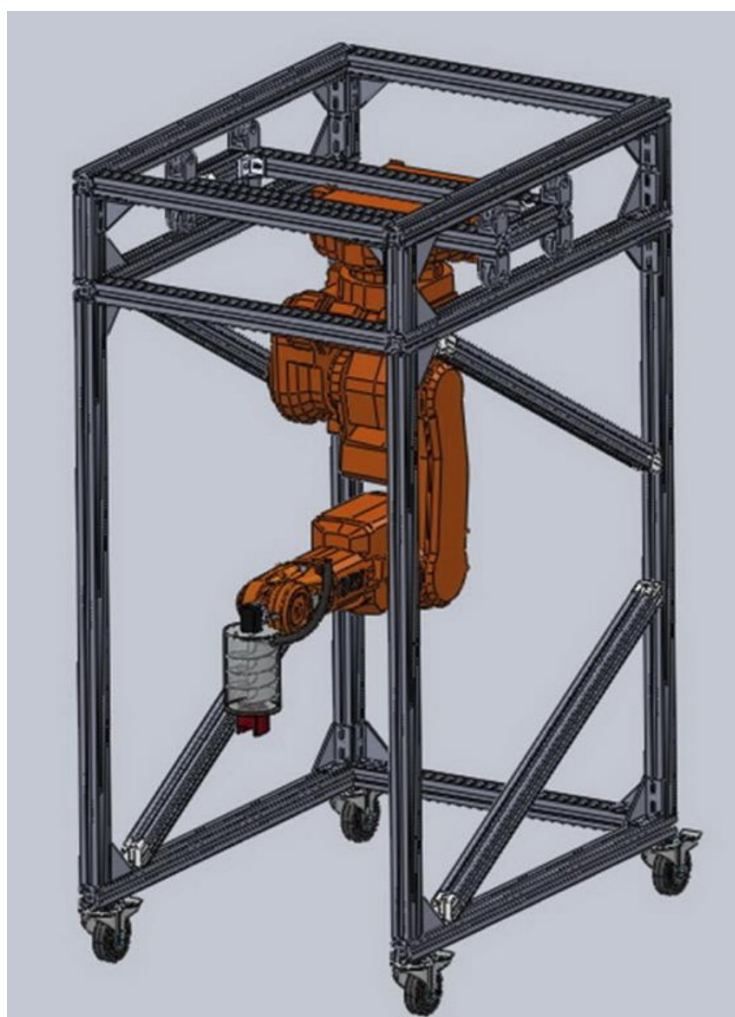
2.1.8 Mobilní 3D tiskárna na robotickém rameni

Myšlenkou této koncepce bylo vytvořit 3D tiskárnu, která by byla v ideálním případě přemístěna na určitou pozici, zabezpečena, tiskla 3D model a poté opět přesunuta na další pozici. Práce na tiskárně byla rozdělena do dvou projektů. Tím prvním byl návrh konstrukce a softwaru pro programování ramene robota. V druhém projektu se navrhoval samotný design a konstrukce tiskové hlavy. [22]

Robotické rameno ABB IRB 140 je šestiosý mnohoúčelový tovární robot se způsobilostí zacházet s objekty o hmotnosti 6 kg. Disponuje masivní konstrukcí s kompletně integrovanými kabely, což vede k úplné přizpůsobivosti. Aby byla zajištěna bezpečnost provozu a spolehlivost,

má robot k dispozici detekci pohybu. Aplikuje se například na obloukové svařování, montáž, obsluhu strojů, manipulaci s materiálem a balení. V našem případě byl robot transformován na tisknutí betonu. [23]

Nosná konstrukce byla vyrobena z hliníku. Pro vytlačování betonu (granulí) se použil vrtací šnek o průměru 100 mm. Tisková hlava byla převzata z dřívějšího návrhu, který byl určený k natavení a vytlačování polymerů v granulové podobě. Ovládání robotického ramena ABB IRB 140 zajišťuje takzvaný RAPID kód. Tiskárna využívá dalšího algoritmu, který zaručuje nepřetržitý tok betonu, kvalitní tisk a získá dobrých mechanických vlastností betonu. [22]



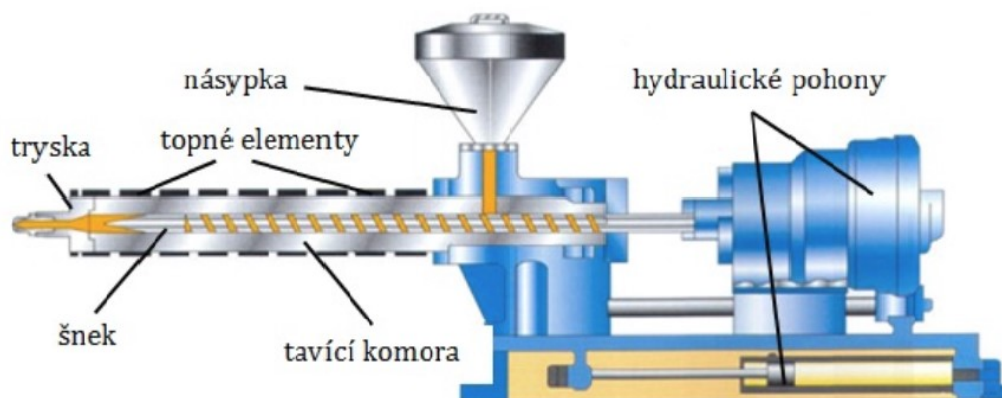
Obr. 15: Mobilní 3D tiskárna na robotickém rameni převzata z [22]

2.2 Průmyslové extrudery

Jedná se o extrudery pro velkosériovou výrobu, které fungují na principu vstřikovacího stroje. Tyto stroje jsou docela složité zařízení, které se skládá z několika částí. Jsou jimi vstřikovací a uzavírací jednotka a ovládací panel. Podrobnější popis zařízení se nachází v následující podkapitole. Jako poslední bude zmíněn stroj BAAM, kterým se vytiskl automobil.

2.2.1 Vstřikovací stroj

Jak již bylo zmíněno, vstřikovací stroj se skládá z několika částí. Hlavní částí je vstřikovací jednotka, jejíž základní funkcí je transformace tuhého materiálu do vysoce viskózní taveniny a transportem do tvarové dutiny formy s maximální tvarovou a rozměrovou přesností. Pro vytlačování taveniny slouží šnekový hřídel, který rotuje kolem své osy s axiálním pohybem dopředu a dozadu. Celá jednotka je upevněna k posuvné konzoli. Konzole obstarává přísun trysky směrem ke vtokové vložce formy, dále zajištění a udržení přitlačné síly. Během plastikace taveniny a přesunu do tvarové dutiny, zajišťují pohony otáčení šneku dopředným pohybem, který slouží jako píst. Stejným způsobem působí šnek při fázi dotlaku. Na Obr. 16 se nachází podrobný popis vstřikovací jednotky. [24]

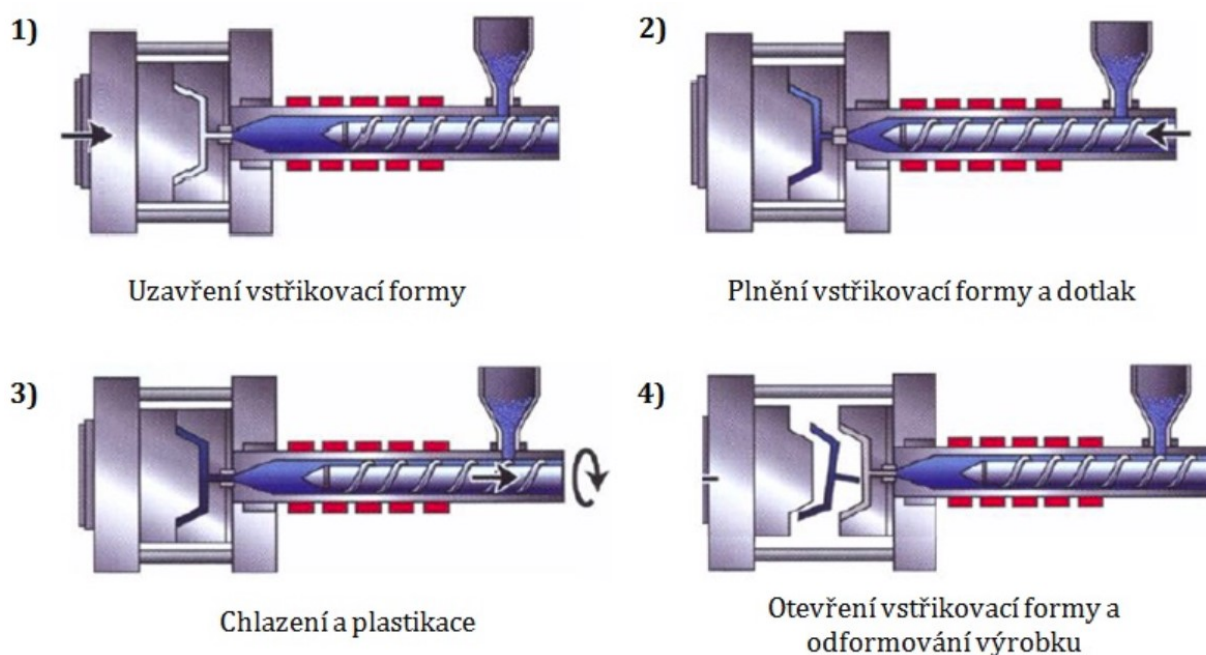


Obr. 16: Ukázka vstřikovacího stroje převzato z [24]

2.2.2 Postup vstřikování

Vstřikování začíná nasypáním plastových granulí do násypky, která je umístěná na vstřikovacím stroji a uzavřením vstřikovací formy. V dalším kroku dojde k přísunu tavní komory a tryska dosedne na vtokovou vložku. Následuje přesun taveniny z komory do vtokového systému a tvarové dutiny formy, tím končí vstřikovací fáze. Pro bilanci tvarových a rozměrových změn vzniklých chladnutím taveniny, slouží fáze dotlaku. Zatímco tavenina

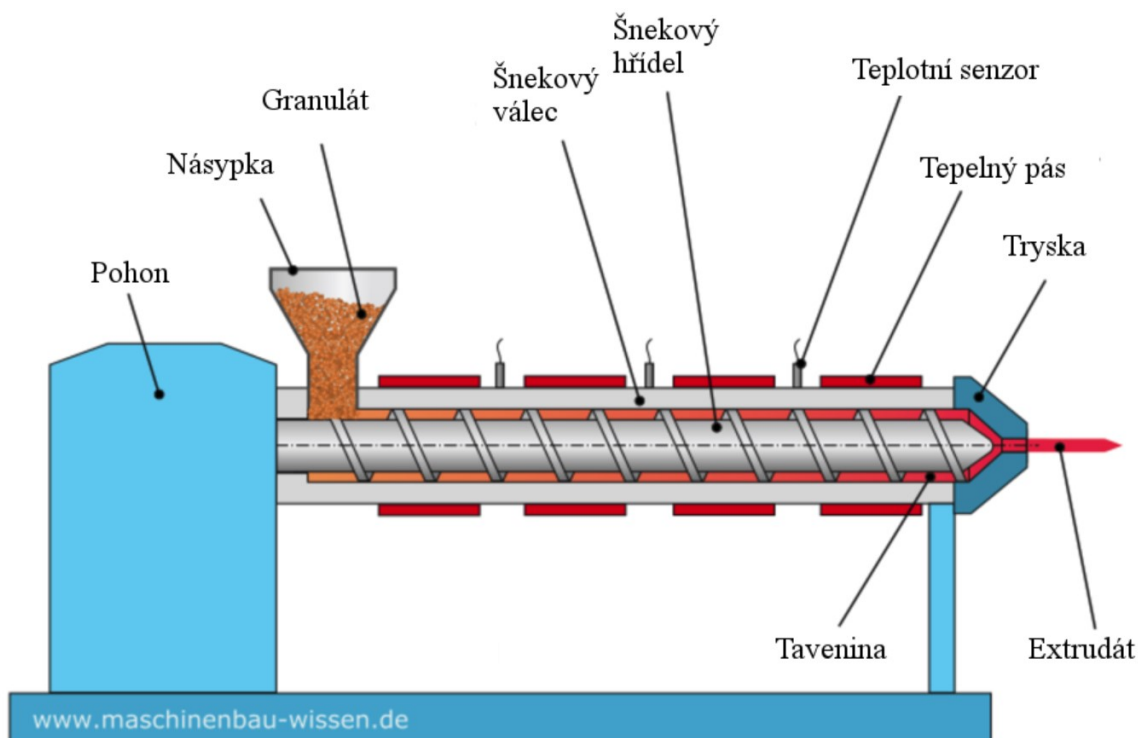
ve formě chladne, šnekový mechanismus připravuje další dávku taveniny pro další cyklus. Šnekový podavač rotuje axiálním pohybem a přivádí materiál z násypky do vytápěných částí tavicí komory a posouvá natavený materiál až před čelo šneku. V tavicí komoře dochází k plastikaci materiálu. Nahromaděná tavenina působí tlakem proti šneku, to zapříčiňuje odsouvání šneku směrem dozadu. Pokud se před šnekem nahromadí dostatečné množství materiálu, dojde k odsunutí šneku, aniž by rotoval směrem od taveniny, tím dojde ke snížení tlaku před vstříknutím taveniny do formy. Proces končí otevřením formy a následuje další cyklus. [25]



Obr. 17: Postup vstřikování převzato z [26]

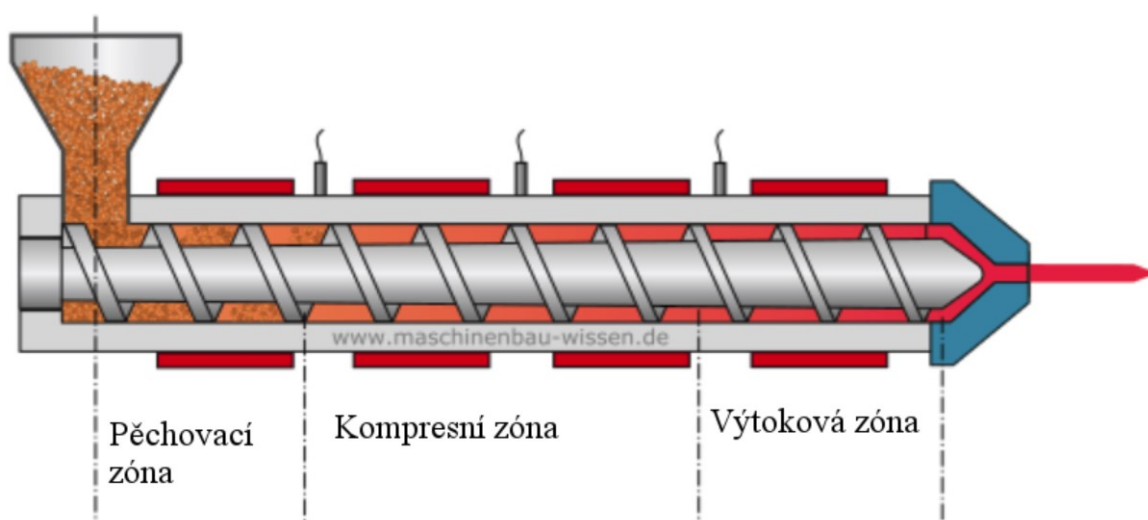
2.2.3 Ukázka průmyslového extruderu

Konstrukce extruderu se skládá ze šnekového hřídele, který je umístěn ve šnekovém válci, jehož vnitřní průměr se rovná vnějšímu průměru šnekového hřídele. Na předním konci se nachází tryska a na zadním konci je uložení šneku s pohonem od elektromotoru s převodovkou. Pohon zajišťuje otáčení šneku. Materiál se přivádí přes násypku umístěnou na vrchní straně válce. Vyžadují-li se další přídatné materiály, mohou být přivedeny pomocí jehelních ventilů nebo bočním přívodem do válce. Materiál se roztaví topnými pásy umístěnými mimo šnekový válec. Chlazení je provedeno buď ventilátory nebo chladicím médiem (voda), které protéká chladicími kanálky ve válci. [27]



Obr. 18: Průmyslový extruder [27]

Šnekový hřídel se skládá ze 3 zón, každá z nich má specifický úkol. V zadní části se nachází pēchovací zóna, do které se přivádí granule. Zde dochází také k roztavení plastu a zhutnění. Další zóna je kompresní, kde je materiál stlačen. V poslední výtokové části probíhá homogenní tok materiálu směrem k trysce a následně vytéká ven z extruderu. Jednotlivé zóny jsou zobrazeny na Obr. 19. [27]

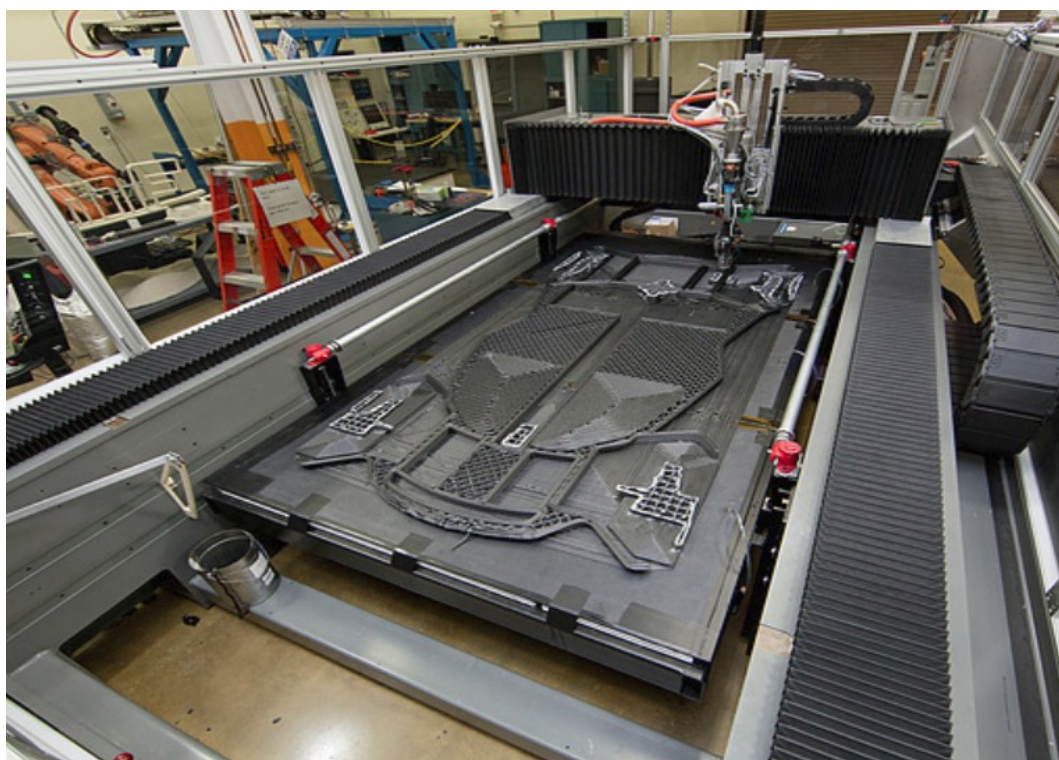


Obr. 19: Zóny šnekového hřídele [27]

2.2.4 BAAM stroj a replika vozu Shelby Cobra

Vůz byl vytisknut na upraveném stroji BAAM s lineárním pohonem a rychlostí vytlačování ABS plastu s uhlíkovými vlákny okolo 17 kg za hodinu.

BAAM je aditivní stroj, který se používá pro průmyslovou výrobu. Aditivní znamená, že stroj je schopen pokládat po sobě jdoucí vrstvy materiálu v různých tvarech. Stroje se skládá z odlehčeného ocelového rámu a hliníkové nosné konstrukce. Samotný extruder vytiskne 36 kg materiálu za hodinu, je vybaven dynamickým řízením toku a unikátním automatickým přechováním. Stroj využívá klasické tiskařské materiály např. ABS, PLA, PC s možností příměsí karbonu, skelných vláken, organických vláken pro zlepšení pevnosti a tepelné stability. Veškeré ovládání probíhá skrze kontrolní panel. [28]



Obr. 20: Proces výroby automobilu Shelby Cobra převzato z [29]

Proces výroby automobilu trval šest týdnů, z toho jeden den zabralo samotné tisknutí vozu. Prvním krokem byl tisk podvozku, na který se dále tiskly zbývající části vozidla. Povrch vozu musel být hladký a lesklý, proto došlo ke zmenšení velikosti tiskového pera. Celková hmotnost auta je 600 kg, tištěné části váží 200 kg. V porovnání s originálem došlo ke snížení hmotnosti a nárůstu pevnosti o trojnásobek. Pro pohon byl zvolen elektromotor s nulovými emisemi, jenž je mnohem efektivnější a cenově dostupnější. Vozidlo slouží k testování nových technologií, jako jsou hybridní pohony a bezdrátové nabíjecí systémy. [29] [30]



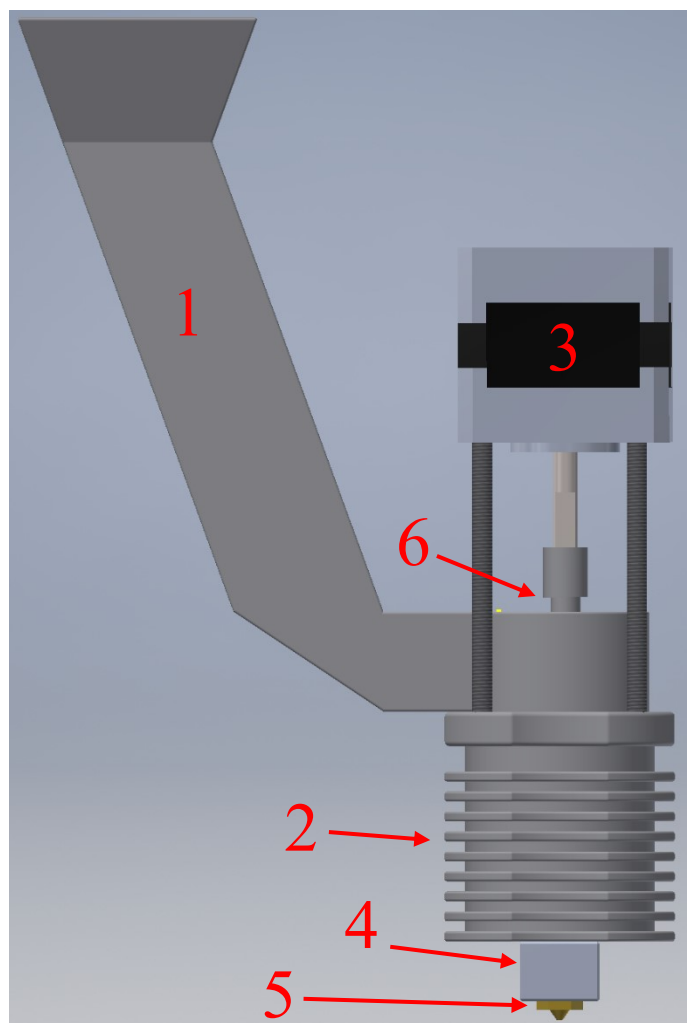
Obr. 21: Replika automobila Shelby Cobra [29]

3 NÁVRH EXTRUDERU

Kapitola je zaměřena na vlastní návrh extruderu, který se skládá z několika součástí. Nejdříve si popíšeme prvotní návrhy extruderu. až ke konečnému návrhu. Každá jednotlivá navrhovaná součást bude mít svůj vlastní technický výkres. Návrh samozřejmě obsahuje kupované komponenty, jako například motor, ložisko, tryska, vrták, topné těleso a snímač teploty. Tyto komponenty nebudou mít svůj technický výkres. Návrh byl vytvořen v softwaru Autodesk Inventor Professional 2018. Extruder bude uchycen na 3D tiskárně typu Prusa MK3. Veškeré technické výkresy naleznete v příloze na konci bakalářské práce.

3.1 Návrh č.1

První pokus o návrh extruderu byl myšlen tak, že motor by byl uchycen nad chladičem. Toto uchycení má své nevýhody. Hlavní nevýhodou je zbytečné zabírání tiskového prostoru. Uchycení má také určitou výhodu, a to takovou, že motor bude pohánět vrták, aniž by bylo zapotřebí ozubeného nebo řemenového převodu. Dalším problémem s tímto návrhem je násypka, která rovněž zabírá zbytečně spoustu místa, ale byl by zde i problém s uchycením extruderu k tiskárně, jelikož zde není žádná volná stěna, ke které by se uchytil nosič extruderu. Chladič je i s násypkou uchycen k motoru pomocí 4 šroubů o průměru 4 mm. Chladič má po svých stranách vybrání, které by sloužilo jako držák ventilátoru, jenž by se spouštěl po překročení určité teploty. Pro ventilátor by se samozřejmě musel vyrobit samostatný držák a teprve pak by se mohl uchytit na chladič. K natavení granulátu byl do sestavy přidán heat break a heat block, aby došlo k zahřívání těchto komponentů, použilo by se topné těleso, uložené uvnitř heat blocku. Pro pohon vrtáku byl zvolen klasický motor Nema 17, jenž si podrobněji popíšeme v následujících podkapitolách. Vrták má průměr 6 mm, jehož délka musela být zkrácena, vzhledem k rozměrům extruderu.



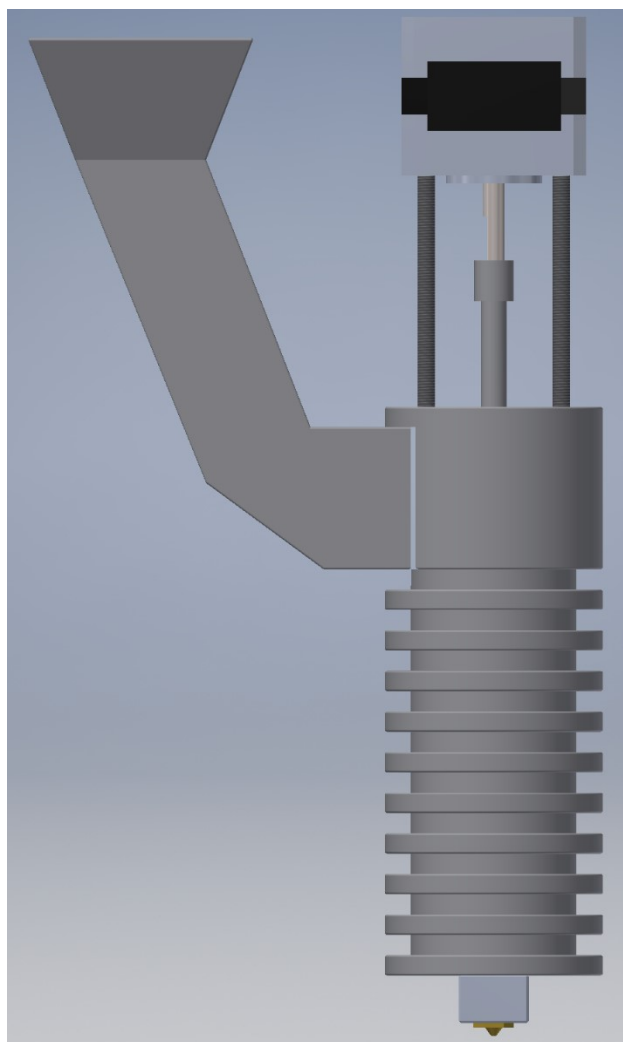
Obr. 22: Ukázka prvního návrhu granulátového extruderu

Popis extruderu:

- 1) Násypka
- 2) Chladič
- 3) Krokový motor Nema 17
- 4) Heat block
- 5) Tryska
- 6) Vrták

3.2 Návrh č.2

Druhý návrh se od prvního návrhu až tak nelišil. Opět je zde motor uchycen nad chladičem. Došlo k prodloužení chladiče z důvodu zvýšení kapacity granulí. Další změnou byla násypka. V prvním případě byla násypka otevřená pro kontrolu hladiny granulí. Zde u druhého návrhu se násypka uzavřela proto, aby nedošlo k pohybu vrtáku do stran, jelikož samotný chladič měl téměř 10 cm na výšku, což je prakticky dvojnásobná výška chladiče prvního návrhu. Pro pojištění stability vrtáku se do horní stěny násypky vložilo navíc kuličkové ložisko. Všechny ostatní komponenty jako například heat block, heat break, motor, tryska a další jsou stejné, jako u předchozího návrhu. Tento návrh je samozřejmě opět nevhodný, protože zabírá značné množství tiskového prostoru a také by zde byl problém s uchycením k tiskárně.



Obr. 23: Ukázka druhého návrhu granulátového extruderu

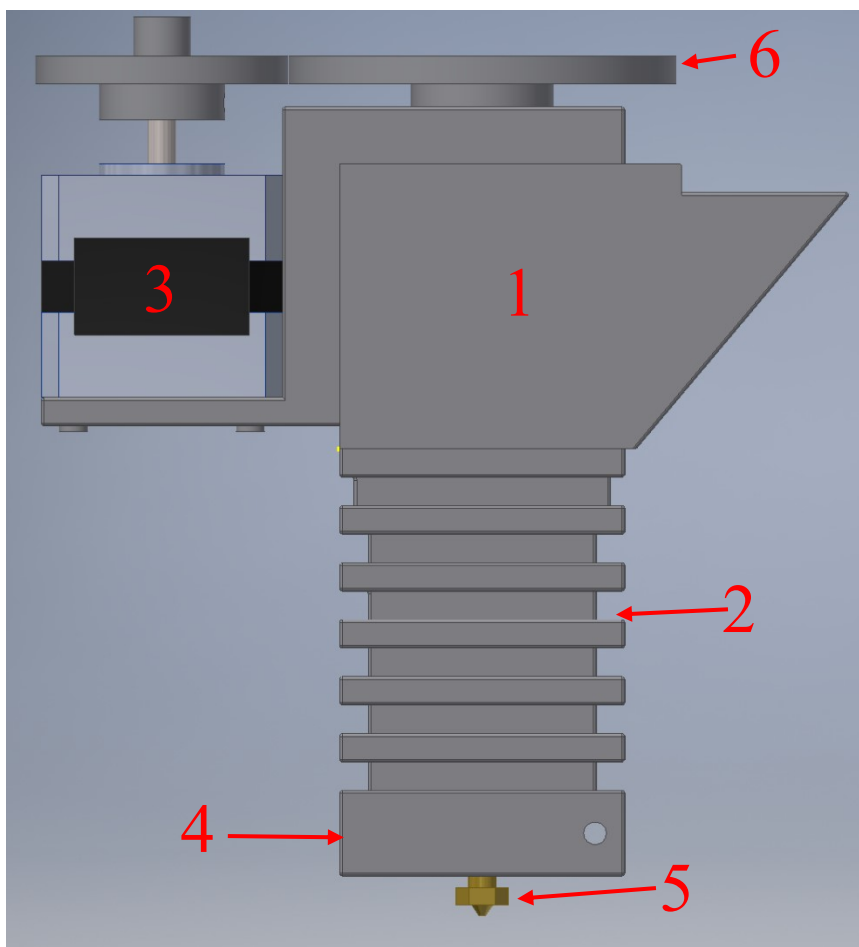
3.3 Návrh č.3

Po předchozích neúspěšných návrzích, se tento extruder navrhl zcela jiným způsobem. Hlavní změna se odehrála v uchycení motoru, který není uchycen nad chladičem, nýbrž se nachází na držáku, který je součástí násypky. Na přenos točivého momentu motoru pro pohon vrtáku byly navrženy ozubená kola.

Násypka se také zcela přepracovala. U tohoto návrhu je část násypky otevřená, není zde žádná skluzavka, což je v jisté míře nevýhoda, protože na skluzavku by se v budoucnu mohl navrhnout systém pro automatické přivádění granulí. Další nevýhodou je, že násypka nepojme takové množství granulí, jako například násypka u druhého návrhu, takže by se musela téměř pořád kontrolovat hladina granulí. Opět je v horní stěně násypky kuličkové ložisko pro vedení vrtáku.

Změnil se i chladič. V předešlých návrzích jsou chladiče kruhového průřezu, zde je chladič čtvercového průřezu o rozměrech 50x50 mm. Uvnitř chladiče se nachází zúžení na průměr vrtáku 6 mm a nachází se v polovině chladiče. Zúžení slouží k nahromadění materiálu a k jeho postupnému natavování. Vrták v místě zúžení začne materiál protlačovat směrem k trysce. Spodní část chladiče byla navržena tak, aby fungovala jako heat block, tudíž zde není potřebný ani heat break, jen tryska. Chladič je celkem masivní a je zde zbytečně moc materiálu, který by se mohl zredukovat.

Návrh má znovu své nevýhody. Jedna nevýhoda ještě nebyla zmíněna. Jedná se o držák krokového motoru, který by při svém tvaru a rozměrech nejspíše neudržel motor během tisku, protože při tisknutí dochází k různým přesunům extruderu a mohlo by dojít k selhání držáku. Navíc jsou motor a otvor násypky umístěny proti sobě na bocích násypky, což by opět omezovalo pohyb extruderu do bočních stran v pracovním prostoru.



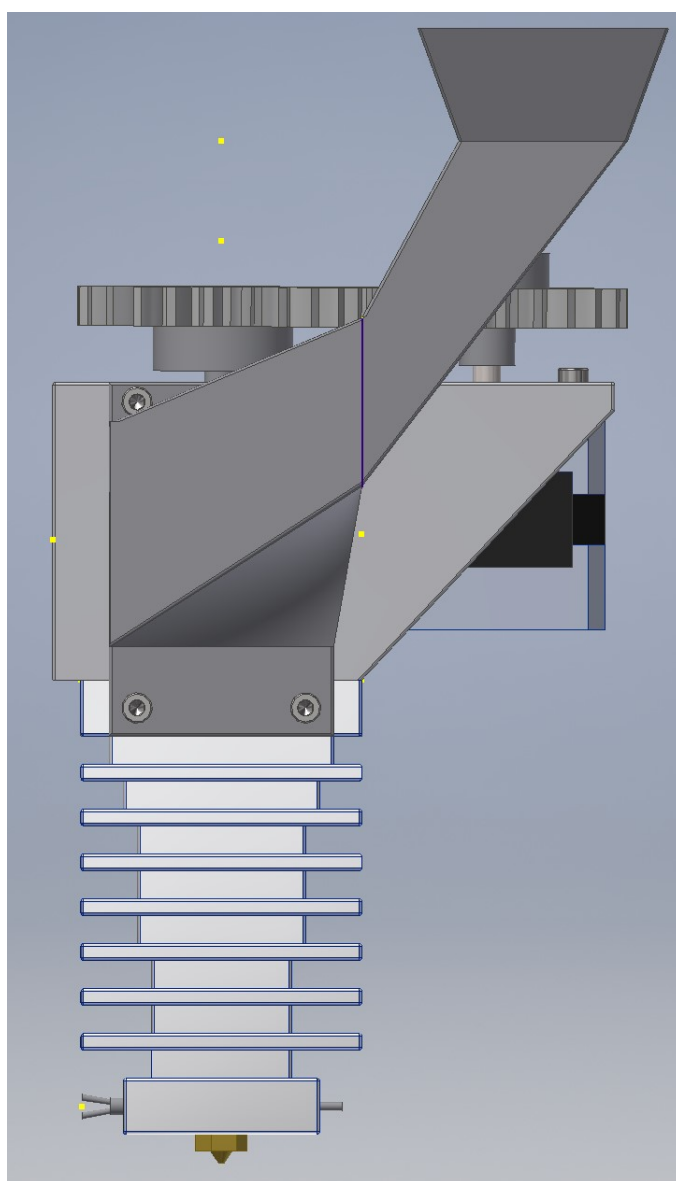
Obr. 24: Ukázka třetího návrhu granulátového extruderu

Popis extruderu:

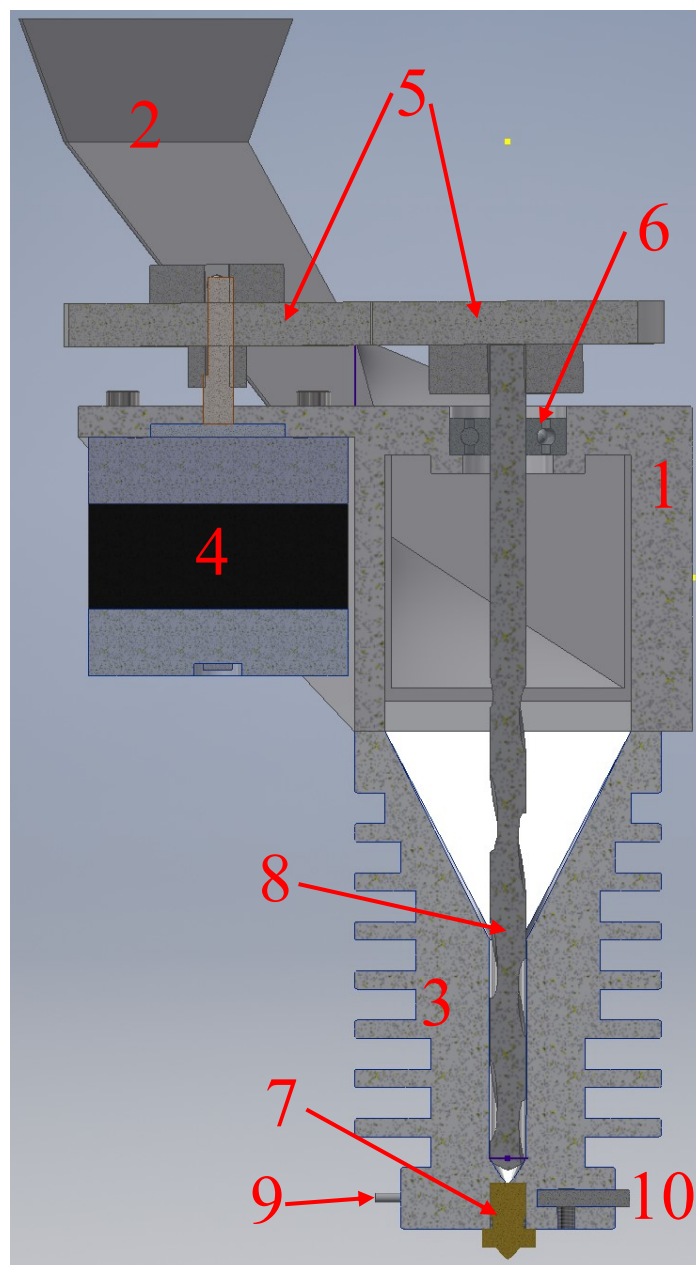
- 1) Násypka
- 2) Chladič
- 3) Krokový motor Nema 17
- 4) Poslední část chladiče navržena jako heat block
- 5) Tryska
- 6) Ozubená kola

3.4 Konečný návrh extruderu

Předchozí návrhy byly neúspěšné a sloužily k poučení se z chyb. Finální návrh obsahuje některé prvky minulých extruderů. Skládá se z násypky, skluzavky, chladiče, ozubených kol, tyto součásti se budou vyrábět. Návrh obsahuje i kupované součásti, jsou jimi vrták, tryska, krokový motor, topné těleso, termistor a samozřejmě spojovací materiál. Každou součást si dále popíšeme. Extruder je navržen tak, aby nedošlo k omezení jeho pohybu v pracovním prostoru. Nyní je na extruderu prostor k uchycení na tiskárnu, došlo k přemístění násypky, tudíž je její boční stěna zcela volná pro uchycení na tiskárnu. Celková výška extruderu se všemi komponenty je téměř 225 mm.



Obr. 25: Ukázka konečného návrhu extruderu



Obr. 26: Poloviční řez extruderu

Popis extruderu:

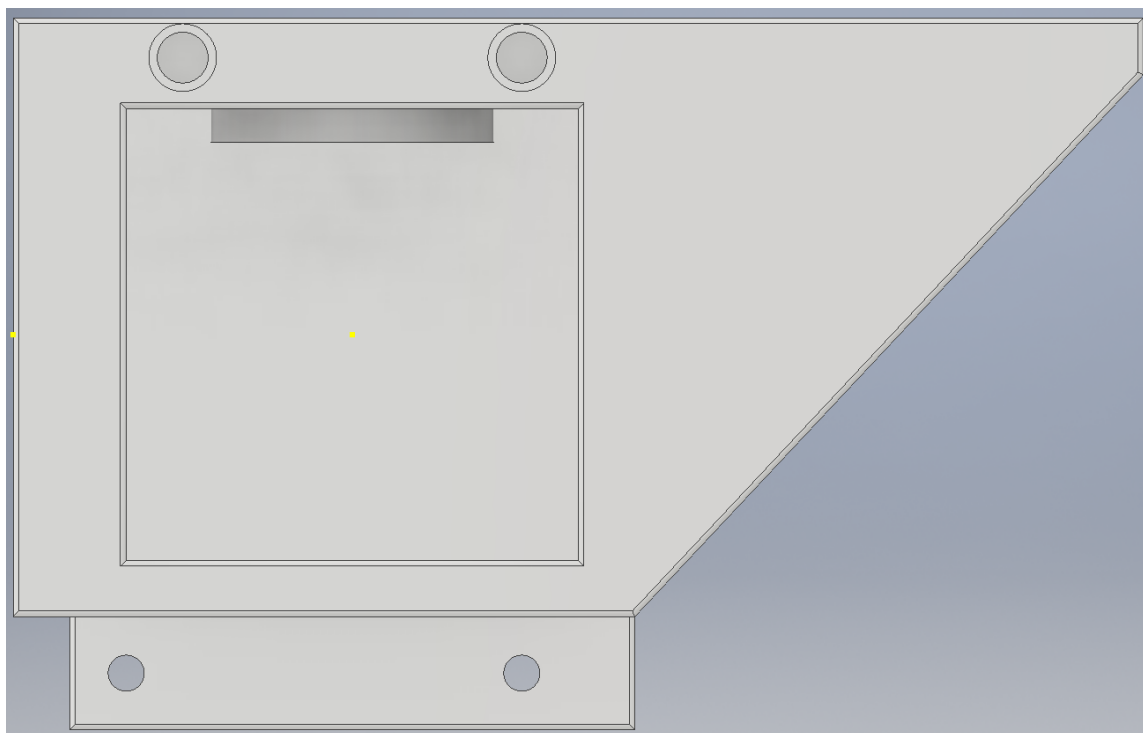
- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1) Násypka | 6) Vrták |
| 2) Skluzavka | 7) Kuličkové ložisko |
| 3) Chladič | 8) Ozubená kola |
| 4) Krokový motor Nema 17 | 9) Topné těleso |
| 5) Tryska | 10) Termistor |

3.4.1 Násypka

Násypka bude sloužit jako zásobník granulí, ze které se budou posunovat dále do chladiče. V Horní stěně násypky je zhotovený otvor na ložisko, pro zlepšení stability vrtáku. Spodní stěna je samozřejmě otevřená pro přechod materiálu do chladiče. Do násypky by se mělo vejít okolo 64 gramů granulí, není v tom zahrnuta skluzavka ani chladič.

Abychom mohli násypku sloučit s držákem na 3D tiskárně, jsou na levé boční straně připraveny celkem tři díry pro šrouby M3. Do těchto děr se budou instalovat Simaf vložky pro šroub M3. Na násypce bude celkem 5 Simaf vložek pro šroub M3, zbylé dvě slouží k uchycení skluzavky na přední straně násypky. Celá pravá část násypky je přizpůsobena pro uchycení krokového motoru. Je vyztužena tak, aby nedošlo k selhání pevnosti horní stěny, ke které bude motor připevněn čtyřmi šrouby M3.

Násypka bude připevněna k chladiči, tudíž jsou na zadní straně připraveny průchozí díry pro šroub M3, z druhé strany bude k chladiči připevněna pomocí násypky. Materiál, ze kterého bude násypka vyrobena bude buď ABS-T nebo PETG, tyto materiály jsou tepelně odolnější než například PLA. Tepelně odolnější materiál se volí proto, že na místě spojení násypky a chladiče bude okolo 50°C.

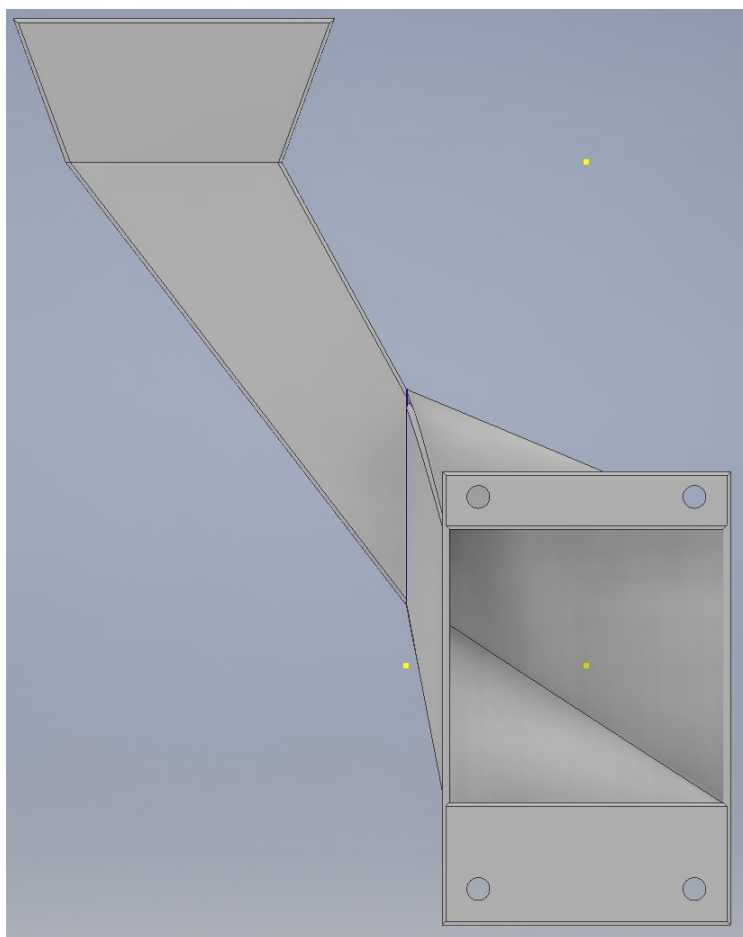


Obr. 27: Násypka

3.4.2 Skluzavka

Hlavním úkolem této součásti je přivádění granulí do násypky. Z konstrukčního hlediska je tato součást navržena tak, aby nezasahovala do pracovního prostoru tiskárny. Nachází se na přední straně násypky, a tudíž nepřekáží tiskárně v práci. Celková výška skluzavky činí skoro 130 mm a šířka téměř 100 mm, tento velký prostor se využije, jako další zásobník pro granule. Rozměry horního otvoru pro vstup granulí jsou 44x44 mm. Které se dále zužují na rozměry otvoru násypky, tedy na rozměry 40x40 mm.

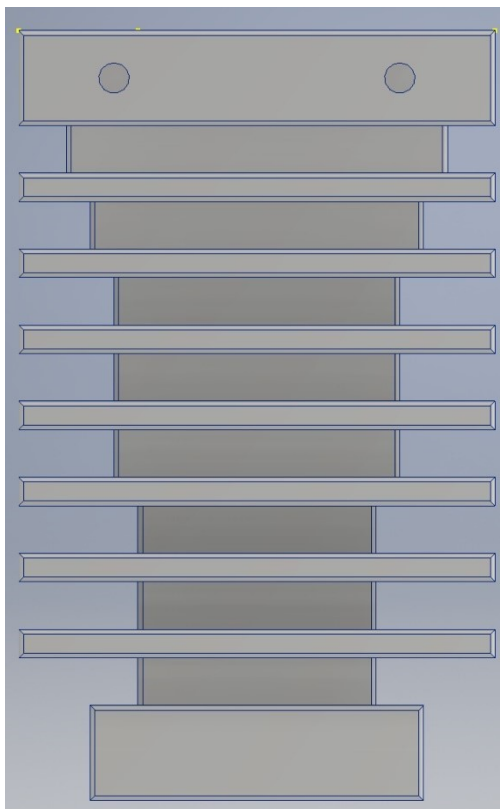
Jak již bylo zmíněno, skluzavka je připevněna k násypce, a to dvěma šrouby M3, jenž budou našroubovány do Simaf vložek v násypce a dále dvěma šrouby stejného typu bude připevněna do chladiče. Materiál pro skluzavku bude stejný, jako materiál pro násypku, tudíž buď ABS-T nebo PETG.



Obr. 28: Skluzavka

3.4.3 Chladič

Chladič je tou nejpodstatnější součástí tohoto návrhu, protože se v něm odehrává podstatná část tisku, a to je natavování a následná extruze nataveného materiálu. Odehrálo se zde několik změn oproti ostatním návrhům. Jednou ze změn je odebrání přebytečného materiálu. Toho si můžeme všimnout na Obr. 29. V podstatě došlo k postupnému zužování šířky mezižebních prostor a také došlo k celkovému zmenšení rozměrů poslední části chladiče, která byla navržena jako heat block. Zmenšila se i šířka žebrování z původních 5 mm na 3 mm. Uvnitř chladiče se nachází jehlanové zúžení z rozměrů horního otvoru v chladiči, které jsou 40x40 mm na průměr vrtáku 6 mm (viz. Obr. 26). V tomto místě bude dosahovat teplota okolo 100 °C. Při této teplotě ztrácí materiály tepelnou odolnost, samozřejmě záleží na typu materiálu, například ABS plast je tepelně odolný do 105 °C. Následuje další zúžení, a to od špičky vrtáku do vstupního otvoru trysky pro dobré protlačování materiálu. Na bocích heat blocku jsou připravené otvory pro dva termistory a pro snímač teploty. V horní části chladiče najdeme celkem čtyři díry se závitem pro šrouby M3, které slouží k uchycení násypky a skluzavky. Na chladiči je i dostatek místa například pro ventilátor. Jenž by se zapínal při překročení určité teploty. Výroba této součásti se bude realizovat pomocí frézování z hliníkové slitiny na CNC stroji.



Obr. 29: Chladič

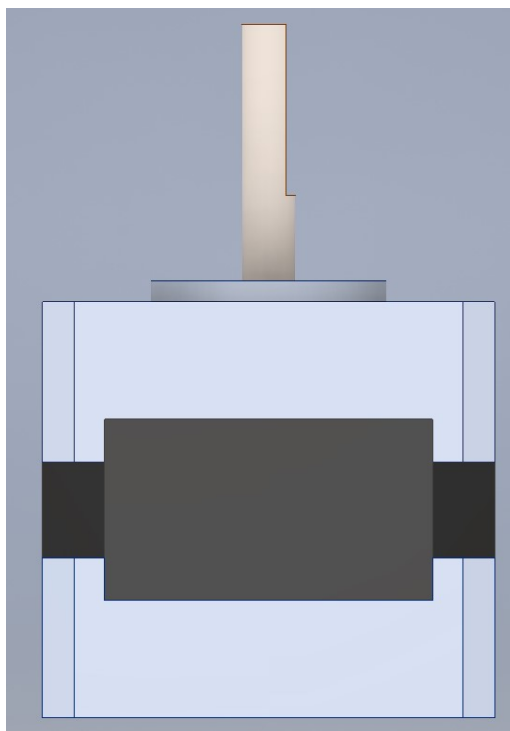
3.4.4 Krokový motor Nema 17

Jedná se o hybridní bipolární krokový motor, který má stupňovitý úhel $1,8^\circ$, což je 200 kroků za jednu otáčku. Motor se skládá ze statoru a rotoru. Stator je uvnitř tvořen sadou cívek a pólovými nástavci, které mají stejnou rozteč, jako je rozteč magnetů, umístěných na rotoru. Při totožném množství cívek, je toto jedna ze součástí, jenž navyšuje exaktnost motoru. Další částí motoru je rotor, který se skládá z hřídele a stabilitu hřídele zajišťuje kuličkové ložisko a další součástí rotoru je prstenec permanentních magnetů. Motor váží 285 gramů, jeho celková výška je téměř 70 mm a šířka je 42 mm. Průměr hřídele rotoru činí 5 mm. [31]



Obr. 30: 1) Krokový motor, 2) Stator, 3) Rotor převzato z [31]

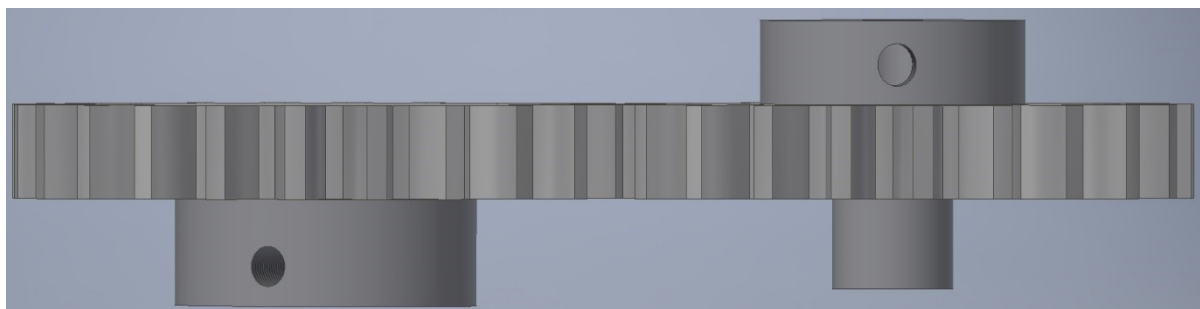
Funkcí motoru bude pohon vrtáku, kterým bude otáčet a dojde tak k protlačování granulí. Princip fungování motoru spočívá v proudu protupující cívkou, který vytvoří magnetické pole, jenž přitáhne protikladný pól magnetu rotoru. Účelným zapojením cívek vytvoříme rotující magnetické pole, jenž bude otáčet rotorem. Jak již bylo poznamenáno, jedná se o bipolární krokový motor, to znamená, že při řízení prochází proud pokaždé dvěma opačnými cívkami. Cívky jsou zapojeny tak, že mají navzájem protikladně orientované magnetické pole. Tento režim má své výhody, protože poskytuje větší krouticí moment, ale zvyšuje se přitom spotřeba. Pro řízení bipolárního motoru je zapotřebí dvou H-můstků, každý pro jednu větev. [31]



Obr. 31: Krokový motor Nema 17 použitý v sestavě granulátového extruderu

3.4.5 Ozubená kola

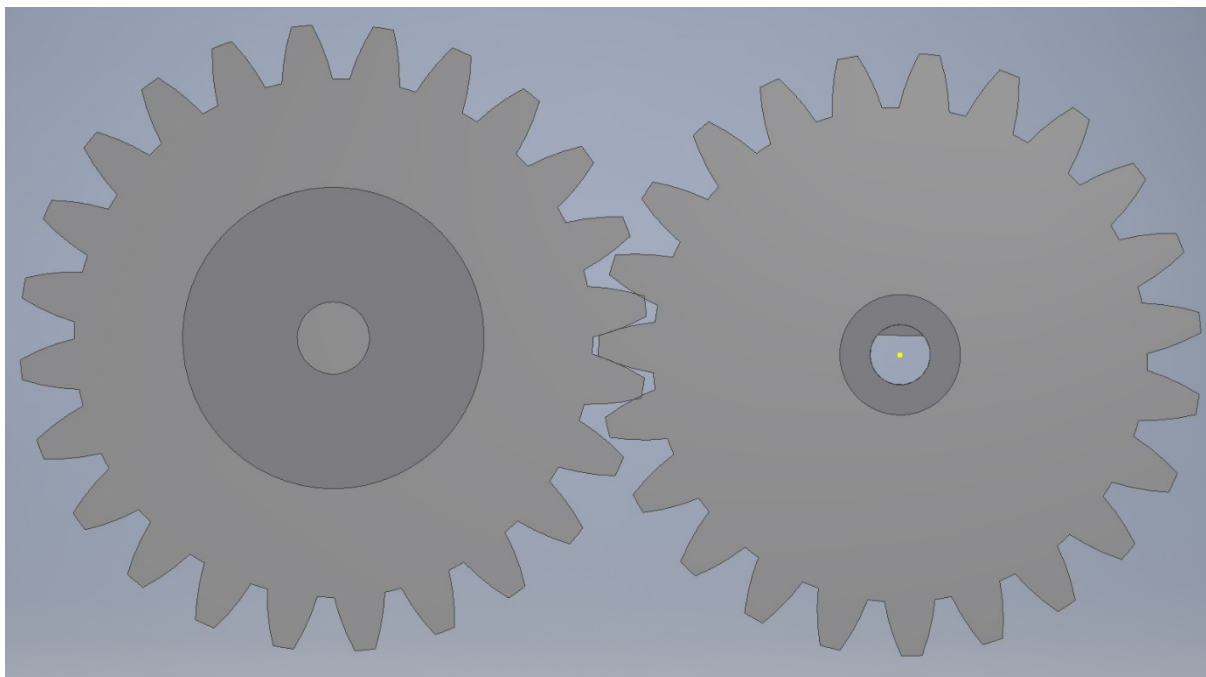
Tato součást bude sloužit k přenosu kroutícího momentu motoru na vrták, aby se vrták mohl otáčet a protlačovat materiál ven z trysky. Převodový poměr bude zvolen až ve fázi testování extruderu. Pro krokový motor Nema 17 se doporučuje několik převodových poměrů, které se budou zkoušet během provozu extruderu. Je zde i jiná možnost pro přenos momentu motoru na vrták, a to pomocí řemenového převodu.



Obr. 32: Ozubená kola-pohled zepředu

Tyto konkrétní ozubená kola jsou navrženy tak, aby nezasahovaly do žádné součásti extruderu, hlavně do násypky. U několika případů jsem se setkal s tím, že ve skluzavce se musel udělat výřez pro ozubené kolo ovládající vrták. Levé ozubené kolo bude pohánět vrták, proto je ze spodní strany připravený otvor o průměru 6 mm. Pro pojištění vrtáku byl

zvolen šroub M3. Právě ozubené kolo neboli pastorek bude poháněno od motor. Je navrženo na rozměry hřídele motoru Nema 17 s přichystanou závitovou dírou pro šroub M3, pro zabezpečení stability. Tato součást by se opět vyráběla 3D tiskem.



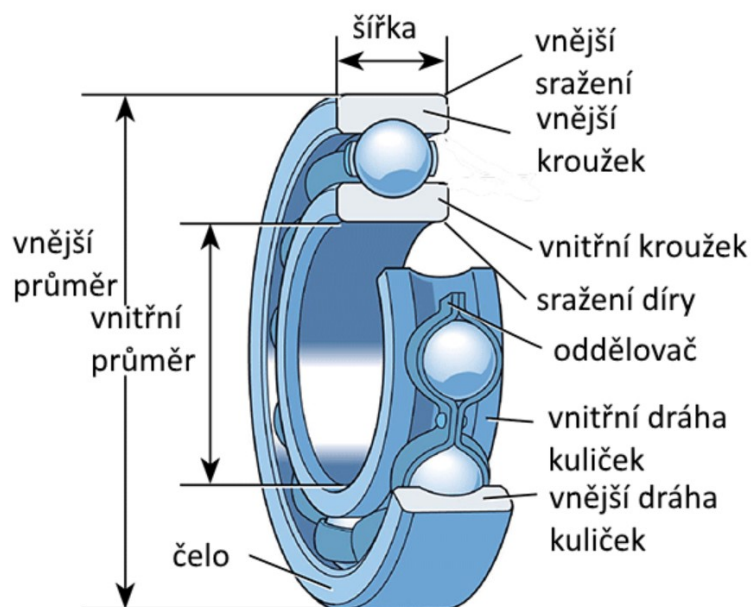
Obr. 33: Ozubená kola-spodní pohled

3.4.6 Kuličkové ložisko

Ložisko se skládá z hladkých kovových kuliček, jenž se valí po vyhlazeném vnitřním povrchu a kovovým vnějším povrchu. Kuličková ložiska jsou jedny z nejpoužívanějších ložisek vůbec, protože zvládají jak axiální, tak i radiální zatížení. Neoznačují se jen jako kuličková ložiska, ale také jako jednořadá ložiska s hlubokou drážkou nebo Conradova ložiska.

Ložisko se skládá z vnitřního kroužku, který je připevněn na otočnou hřídel a na jeho vnějším průměru se nachází drážka, sloužící pro vedení kuliček. Vnější kroužek je umístěn v ložiskovém pouzdře. Zatížení je přenášeno nejprve ze zevního kroužku na kuličku a poté z kuličky na vnitřní kroužek. Kuličky rotují po oběžných drahách. Pokud má oběžná dráha menší poloměr zakřivení, mohlo by dojít ke vzniku velkého valivého tření. V opačném případě by mohlo dojít ke zkracování únavové životnosti z důvodu vyššího namáhání mezi kuličkou a kroužkem. V našem případě již bylo poznamenáno, že ložisko bude uloženo v násypce a bude zajišťovat stabilitu vrtáku během tisku. [32]

KULIČKOVÉ LOŽISKO

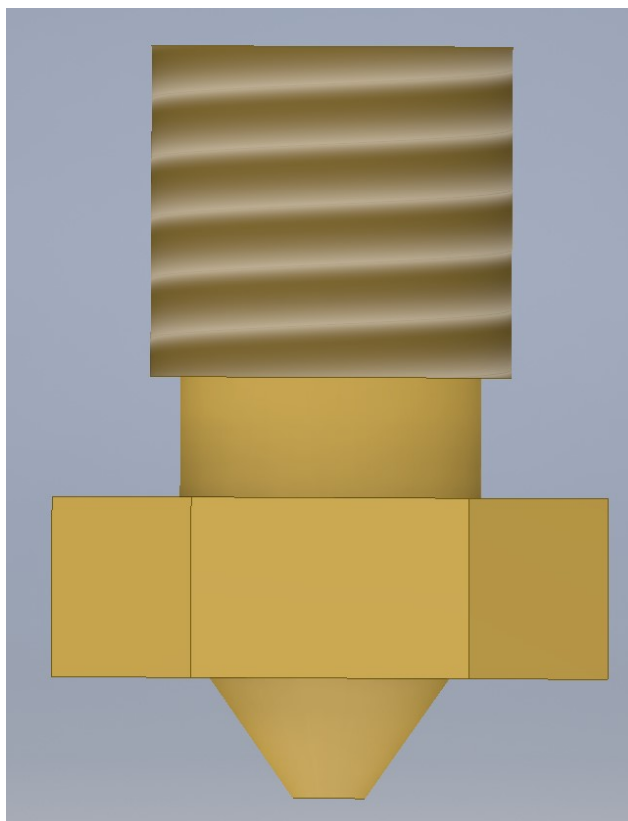


Obr. 34: Popis kuličkového ložiska převzato z [32]

3.4.7 Tryska

Bez tohoto komponentu bychom nemohli pokládat materiál do požadovaného tvaru. Nejběžnější trysky mají průměr 0,4 mm, čím menší průměr, tím dosáhneme vyšší úrovně detailů, jenomže se sníží vrstva nanášeného materiálu a také bude užší extruze. Tím pádem se zvyšuje doba tisku modelů.

Trysky pro 3D tisk se vyrábí z mosazi. Tento typ trysky je vhodný pro tisk běžných materiálů, příkladem může být ABS, PLA nebo PETG plast. Mohou se také vyrábět z tvrzené oceli, jenž je schopna vydržet několikanásobně déle než mosazná tryska. Používají se při tisku materiálů, které mají různé příměsi, jako například PLA plast s příměsí uhlíku. Naše tryska má průměr 0,4 mm. Její výška je 12,5 mm a šířka 8 mm. Bude uchycena v heat blocku pomocí závitu. Na trysku budou působit teploty pohybující se kolem 220 °C v závislosti na použitém materiálu.



Obr. 35: Tryska

3.4.8 Vrták

Vrták je obecně nástroj, který slouží k vytváření kruhových otvorů ručně nebo pomocí stroje. Tvar vrtáku je zpravidla dvoubřitý, může být i s připájeným břitem, případně i povlakovaný. Existuje několik druhů vrtáků (šroubovitý vrták s válcovou nebo kuželovou stopkou, plochý vrták, hlavňový vrták, kopinatý vrták, dělový vrták, středící vrták, korunkový vrták, trepanační vrták, miniaturní vrták). Během vrtání se vyvíjí teplo, jenž vzniká třením a také při oddělování třísky.

Pro protlačování granulí bude stačit standartní šroubovitý vrták M7, což je dvoubřitý nástroj se šroubovitými drážkami, které obecně slouží k odvodu třísek nebo k přívodu chladicí kapaliny, ale to se netýká našeho případu. Úhel špičky vrtáku je 120° a délka 200 mm. Horní část vrtáku neboli stopka se uchytí do ozubeného kola a pojistí se šroubem M3. Bude také procházet kuličkovým ložiskem. Jeho činná část bude působit v chladiči.



Obr. 36: Vrták M7

3.4.9 Topné těleso

Hlavní úlohou topného tělesa bude vyhřívání heat blocku a tím i celého chladiče. Topné tělesa pro 3D tisk se vyrábí z nerezové oceli, kvalitnější jsou vyrobeny z keramiky. Vodiče jsou chráněné teplotně odolnou bužírkou. K vyhřívání a udržení teploty jsou v chladiči připraveny otvory na dvě topná tělesa. Volba dvou topných těles o příkonu 40 W při napětí 12 V je proto, že budeme vyhřívát jak trysku, tak i chladič. Teplota v horní části chladiče bude dosahovat 50 °C a teplota trysky bude dosahovat v průměru 220 °C v závislosti na typu materiálu. Délka topného tělesa dosahuje 20 mm a průměr činí 6 mm. [33]



Obr. 37: Ukázka keramického topného tělesa převzato z [33]

3.4.10 Termistor

Obecně je termistor elektrotechnická součástka. Elektrický odpor termistoru je závislý na teplotě. Existují dva druhy termistorů-NTC (negastory) a PTC (pozistory). U negastorů se s rostoucí teplotou snižuje elektrický odpor. Slouží k měření teploty, zatímco pozistory se využívají k měření průtoku nebo hladiny.

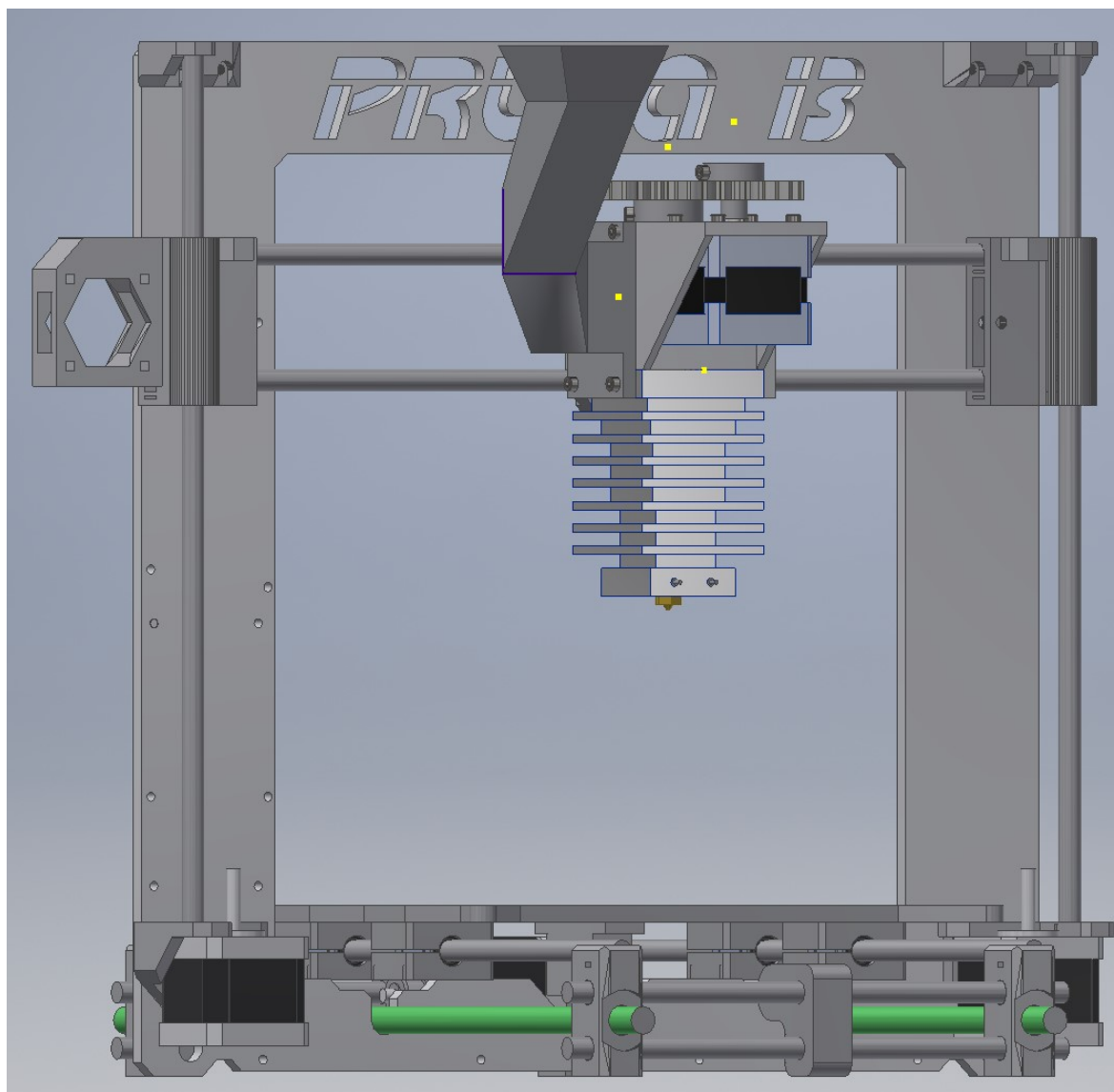
Výroba se provádí práškovou, tenkovrstvou nebo tlustovrstvou technologií. Pro náš návrh bude stačit termistor vyrobený tenkovrstvou technologií ze směsi oxidů kovů a po vylisování se zpevní slinováním za vysokých teplot. Oproti tomu tlustovrstvé termistory se vyrábějí nanášením speciálních past a následný vypalováním. Běžný rozsah teplot pro použití je $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, dělají se i termistory pro nízké a vysoké teploty až do $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bude využit k měření teploty, bude umístěn na boční straně heat blocku, kde je připravený otvor o průměru 3 mm. Jeho velká citlivost, nízká hmotnost a malé rozměry dovolují měření velmi rychlých teplotních změn. [34]



Obr. 38: Ukázka termistoru převzato z [35]

3.4.11 Uchycení extruderu na 3D tiskárně

Na Obr. 39 můžeme vidět extruder uchycený na 3D tiskárně typu Prusa. Extruder je navrhnut tak, aby mohl být uchycen na nejběžnější RepRap tiskárny. Dále můžeme pozorovat, že extruder nijak nezasahuje do pracovního prostoru tiskárny, což je jedna z důležitých vlastností extruderu. Další důležitou vlastností je využití co možná největšího tiskového prostoru podložky, v našem případě to nepředstavuje žádný problém.



Obr. 39: Uchycení extruderu na 3D tiskárně

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout granulátový extruder pro 3D tisk. Granulát byl zvolen proto, že má své výhody oproti filamentu. Tou nejzásadnější je cenový rozdíl, 1 kg granulí je levnější o téměř trojnásobek než filament. Z dlouhodobého ekonomického hlediska je zřejmé, že materiály pro 3D tisk ve formě granulí šetří několikanásobně náklady, které se mohou použít na jiné účely, například na vývoj a zlepšení vlastností extruderů. Pro granule se dále například nemusí vyrábět žádné cívky, jako u filamentu, který se na cívky namotává. Tyto 1 kg cívky se dále zavěšují na 3D tiskárny, takže zabírají i nějaký ten prostor a samozřejmě se k tomu musí přizpůsobit konstrukce tiskárny. U granulátového extruderu stačí vyrobít násypku, která pojme určité množství granulí v závislosti na rozměrech násypky, která se většinou vyrábí technologií 3D tisku.

Část práce je zaměřena na teoretický rozbor 3D tisku, jeho základních technologií a materiálech, které budeme používat při tisku právě na navrženém granulátovém extruderu. Další kapitoly jsou zaměřeny na již vyrobené granulátové extrudery a jejich popis. Prvotní ukázky jsou jednoduššího typu, dále jsou složitější a propracovanější modely granulátových extruderů. Po extruderech umístěných na 3D tiskárnu následují průmyslové extrudery. Jelikož se jedná o vstříkolisy, je nezbytnou součástí popis vstříkování. Na závěr je popsána výroba vozu Shelby Cobra na velkoprostorové 3D tiskárně.

Návrh extruderu nebyl nikterak jednoduchý. Celkem bylo šest návrhů extruderů. V praktické části byly popsány pouze tři návrhy, protože u ostatních nebyly až tak velké změny. Konečný návrh granulátového extruderu obsahuje několik komponentů. Sestava neobsahuje jen navržené díly, ale i kupované součástky. Všechny navrhované i kupované součástky jsou popsány v jednotlivých kapitolách. Obtížným úkolem bylo navrhnout extruder tak, aby nezasahoval do konstrukce tiskárny a tudíž, aby nebyl omezen pohyb v tiskovém prostoru. Nejsme zatím schopni určit celkovou cenu extruderu. Do budoucna by se mohl navrhnout například systém pro automatické dodávání granulí, což by značně ovlivnilo rychlost tisku a dobu potřebnou k vytisknutí modelu.

SEZNAM ZKRATEK

3D	Trojrozměrný
FDM	Fused Deposition Modeling
FFF	Fused Filament Fabrication
CAD	Computer aided design
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PLA	Polylactid acid
PET	Polyethylentereftalát
UV	Ultraviolet
PA	Polyamid
PP	Polypropylen
PE	Polyethylen
FGF	Fused Granular Fabrication
BAAM	Big Area Additive Manufacturing

SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY

- [1.] Evans, Brian. *Practical 3D printers-The Science and Art of 3D Printing*. místo neznámé : Vydavatelství Technology in Action, 2012.
- [2.] Cass, Jacob. Just creative. *Just creative*. [Online] 2018. [Citace: 21. Duben 2018.] <http://justcreative.com/2017/08/28/7-incredible-ways-3d-printing-is-transforming-our-world/>.
- [3.] Royal Society of Chemistry. [Online] [Citace: 21. Duben 2018.] <http://pubs.rsc.org/is/content/articlehtml/2016/lc/c6lc00284f>.
- [4.] Larson, Joe. *3D Printing Designs: Designs an SD Card Holder*. Birmingham : Packt publishing, 2016.
- [5.] abc3D. [Online] 2014. [Citace: 21. Duben 2018.] <https://www.abc3d.cz/o-3d-tisku-neprehlednete/115-3d-tisk-principy-technologie>.
- [6.] Wikipedia. [Online] 2001. [Citace: 21. Duben 2018.] https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_filament_fabrication#/media/File:Extruder_lemio.svg.
- [7.] eppm. *The magazine for Europe's plastic processors*. [Online] 2017. [Citace: 21. Duben 2018.] <https://www.eppm.com/industry-news/plastics-color-corporation-joins-color-marketing-group-inter/>.
- [8.] 3D struny. [Online] [Citace: 22. Duben 2018.] http://www.3dstruny.cz/Prodavane-materialy-a5_9.htm.
- [9.] Futur3D. [Online] [Citace: 22. Duben 2018.] <https://www.futur3d.net/materialy-pro-3d-tisk>.
- [10.] Tvaroch. *TVAR Open Creative Hub*. [Online] [Citace: 22. Duben 2018.] <http://tvaroch.sk/blog/rozdiel-medzi-abs-pla/>.
- [11.] Publi. [Online] [Citace: 22. Duben 2018.] <https://publi.cz/books/180/18.html>.
- [12.] Na3D. [Online] [Citace: 22. Duben 2018.] <http://tvaroch.sk/blog/rozdiel-medzi-abs-pla/>.
- [13.] Blogger. [Online] [Citace: 22. Duben 2018.] <https://richrap.blogspot.cz/2014/12/no-more-filament-quest-for-universal.html>.

- [14.] 3D printer and 3D printing news. [Online] [Citace: 22. Duben 2018.] <http://www.3ders.org/articles/20150529-south-africa-fouche3dprinting-announces-new-waltruder-8-pellet-extruder.html>.
- [15.] 3D printer and 3D printing news. [Online] [Citace: 22. Duben 2018.] <http://www.3ders.org/articles/20140705-erectorbot-large-scale-3d-printer-comes-with-first-production-level-granule-fed-extruder.html>.
- [16.] Fabbaloo. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <http://www.fabbaloo.com/blog/2018/4/17/are-pellets-better-than-filament>.
- [17.] 3d Printing Media Network. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://www.3dprintingmedia.network/universal-pellet-extruder-infinity-belt-system-3d-printing-opportunities-italy/>.
- [18.] Markerslab. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://makerslab.cz/typy-3d-tiskaren/>.
- [19.] 3Dprint. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://3dprint.com/130223/deltawasp-pellet-printer/>.
- [20.] Fabbaloo. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <http://www.fabbaloo.com/blog/2016/10/17/another-3d-printer-manufacturer-buys-a-ticket-on-the-pellet-train>.
- [21.] Manufacturing guide. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://www.manufacturingguide.com/en/fused-granular-fabrication-fgf>.
- [22.] 3D printer and 3D printing news. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <http://www.3ders.org/articles/20150731-lund-university-team-led-by-olaf-diegel-builds-mobile-concrete-3d-printer-to-3d-print-furniture.html>.
- [23.] ABB. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <http://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-140>.
- [24.] Publi. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://publi.cz/books/181/03.html>.
- [25.] Publi. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://publi.cz/books/179/01.html>.
- [26.] Publi. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://publi.cz/books/181/02.html>.

- [27.] Maschinenbau-Wissen. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/393-extruder>.
- [28.] Cincinnati. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://www.e-ci.com/baam/>.
- [29.] SAE international. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://www.sae.org/news/2015/01/shelby-cobra-puts-sporty-face-on-3-d-printing-technology>.
- [30.] 3D print. [Online] [Citace: 23. Duben 2018.] <https://3dprint.com/36433/3d-printed-shelby-cobra/>.
- [31.] Robotika.cz. [Online] [Citace: 13. Květen 2018.] <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>.
- [32.] E-konstrukter. [Online] [Citace: 13. Květen 2018.] <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-ruzny-mi-druhy-lozisek>.
- [33.] Computer laboratory. [Online] [Citace: 13. Květen 2018.] <https://www.clexpert.cz/3dtisk/soucasti/topne-teleso-12v-40w>.
- [34.] vývoj.hw. [Online] [Citace: 13. Květen 2018.] <https://vyvoj.hw.cz/teorie-a-praxe/dokumentace/mereni-teploty-polovodicove-odporove-senzory-teploty.html>.
- [35.] Vše pro 3D tisk. [Online] [Citace: 13. Květen 2018.] <https://www.vsepro3dtisk.cz/p/termistor-cartridge>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Průběh 3D tisku převzato z [2]	11
Obr. 2 FDM technologie [3].....	13
Obr. 3: Technologie FFF [6]	14
Obr. 4: Ukázka granulátu převzato z [7]	14
Obr. 5: Graf charakteristiky ABS plastu [9]	15
Obr. 6: Graf charakteristiky PLA plastu [9].....	16
Obr. 7: Graf charakteristiky PET plastu [9]	17
Obr. 8: Univerzální granulový extruder převzato z [13].....	19
Obr. 9: WalTruder 8 převzato z [14].....	20
Obr. 10: ErectorBot převzato z [15].....	21
Obr. 11: Granulový extruder Direct 3D převzato z [16]	22
Obr. 12: Delta Wasp převzato z [19].....	23
Obr. 13: 3D tiskárna Atlas převzato z [20]	24
Obr. 14: Granulový extruder pro FGF technologii převzato z [21]	25
Obr. 15: Mobilní 3D tiskárna na robotickém rameni převzato z [22].....	26
Obr. 16: Ukázka vstřikovacího stroje převzato z [24]	27
Obr. 17: Postup vstřikování převzato z [26].....	28
Obr. 18: Průmyslový extruder [27]	29
Obr. 19: Zóny šnekového hřídele [27]	29
Obr. 20: Proces výroby automobilu Shelby Cobra převzato z [29]	30
Obr. 21: Replika automobilu Shelby Cobra [29]	31
Obr. 22: Ukázka prvního návrhu granulátového extruderu.....	33
Obr. 23: Ukázka druhého návrhu granulátového extruderu	34
Obr. 24: Ukázka třetího návrhu granulátového extruderu.....	36
Obr. 25: Ukázka konečného návrhu extruderu.....	37
Obr. 26: Poloviční řez extruderu	38
Obr. 27: Násypka.....	39
Obr. 28: Skluzavka.....	40
Obr. 29: Chladič	41
Obr. 30: 1) Krokový motor, 2) Stator, 3) Rotor převzato z [31].....	42
Obr. 31: Krokový motor Nema 17 použitý v sestavě granulátového extruderu.....	43
Obr. 32: Ozubená kola-pohled zepředu.....	43

Obr. 33: Ozubená kola-spodní pohled.....	44
Obr. 34: Popis kuličkového ložiska převzato z [32]	45
Obr. 35: Tryska	46
Obr. 36: Vrták M7	47
Obr. 37: Ukázka keramického topného tělesa převzato z [33]	48
Obr. 38: Ukázka termistoru převzato z [35].....	49
Obr. 39: Uchycení extruderu na 3D tiskárně.....	50

SEZNAM PŘÍLOH

1. **Příloha:** Výkres číslo 1- Chladič
2. **Příloha:** Výkres číslo 2- Násypka
3. **Příloha:** Výkres číslo 3- Skluzavka
4. **Příloha:** Výkres číslo 4- Extruder na granulát